

CIRAD



IUT - GB

BIOCARBURANTS POUR L'AGRICULTURE

Étude des possibilités d'autonomie en carburant
de l'agriculture française.

ETUDE DE L'HUILE DE COLZA COMME
CARBURANT AGRICOLE EN CIRCUIT COURT



(mars 2008 G Vaitilingom)

Sommaire

P.4	1. Introduction
p.6	2. Les carburants en agriculture
P.7	3. Les différents biocarburants dès aujourd'hui utilisables en agriculture
P.9	4. Avantages des huiles végétales carburant
P.11	5. Le colza : du champ au réservoir
P.16	6. Les filières de production de l'huile de colza
P. 21	7. Les produits issus des huileries et leurs utilisations
P.27	8. Productivité agricole et bilan énergétique de la filière huile végétale
P.32	9. Traitements et qualité de l'huile de colza carburant
P.36	10. Les huiles végétales pures carburants Utilisation des huiles végétales pures dans les moteurs diesels. Utilisation des huiles végétales pures dans les brûleurs
P.65	11. Exemples d'estimation du coût de la production d'huile de colza par la filière courte
P.67	12. Réglementation en vigueur
P.69	13. Conclusions et perspectives
P.78	ANNEXES :

Abréviations et sigles

ACE	Aide aux Cultures Energétiques
AGRICE	Agriculture pour la Chimie et l'Energie
BIODIESEL	esters méthyliques d'huile de colza ou de tournesol
CETIOM	Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitain
CIRAD	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le développement
ETBE	éthyl tertio butyl ether (fabriqué à partir de bioéthanol, 1 tonne d'ETBE contient 0,495 tonne de bioéthanol).
GNV	gaz naturel pour véhicules
GPL	gaz de pétrole liquéfié carburant
HVN	Huiles végétales naturelles
HVP	Huiles Végétales Pures
NOx	Oxyde d'Azote
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur
TIC	Taxe Intérieure de Consommation
TIPP	Taxe intérieure sur les produits pétroliers

1. Introduction

Les énergies renouvelables prennent une place croissante dans les schémas de développement des politiques énergétiques des pays du Nord et du Sud. Ceci est motivé par une moindre dépendance vis à vis du pétrole, la prise en compte des problèmes environnementaux à l'échelle de la planète, l'accès à de nouvelles sources d'énergie non importée.

Les pays de l'Union Européenne se déclarant favorables à la promotion des énergies renouvelables, l'éolien, le photovoltaïque, le solaire thermique et les biocarburants bénéficient de soutiens et de la volonté de les voir prendre une part croissante dans la production d'énergie industrielle et domestique.

Mais pour encore plusieurs générations, la dépendance vis à vis du pétrole restera forte, quel que soit son prix, dans des secteurs consommateurs de carburants comme les transports routiers et l'agriculture.

Le regain d'intérêt de produire son propre combustible agricole ne découle pas simplement du courant actuel vers un retour à des solutions plus « naturelles » (ou bio), bénéficiant d'un courant de sympathie a priori. Il provient du constat de fragilité du processus de production agricole : l'image d'une rupture d'approvisionnement en carburant au moment des récoltes, peu probable, amène cependant l'agriculteur à réaliser l'incroyable dépendance qu'est la sienne depuis la disparition de la culture attelée¹.

Or l'agriculture produit 5 à 10 fois l'énergie qu'elle consomme. La prise en compte de ces aspects juste après la 1ère guerre du Golfe, a mis l'accent sur l'énergie agricole liant les problématiques dans un triptyque « indépendance énergétique-préservation de l'environnement -développement des usages non alimentaires des produits agricoles ».

Aujourd'hui, dix huit ans plus tard, la Communauté européenne produit 15 millions d'hectolitres d'éthanol carburant d'origine agricole et 40 millions d'hectolitres de Biodiesel (esters méthyliques de colza ou de tournesol) représentant environ 0,15 % de la consommation totale des huiles minérales combustibles en 1998.

Bien que d'origine agricole, aucun n'est utilisé en agriculture. L'éthanol et l'ETBE sont utilisés dans les moteurs à essence, absents en agriculture, mais le Biodiesel pourrait l'être. En France son surcoût élevé vis à vis du fioul, malgré l'exonération de TIC, lui interdit cette application.

Or il existe des travaux et des exemples d'usages d'huiles végétales naturelles dans des tracteurs agricoles dont les moteurs sont spécialement adaptés.

¹ L'agriculture des pays développés, totalement et irréversiblement mécanisée, dépend fortement de dérivés des produits pétroliers, qu'ils soient chimiques pour les engrais ou produits de raffinage pour les carburants. Par exemple, les opérations de culture représentent 80 % de l'énergie consommée.

En Europe l'exemple autrichien, d'utilisation de Biodiesel et d'huile de colza naturelle en *circuit court* incita des groupes d'agriculteurs français à s'y intéresser dès le début des années 90.

En France, depuis 2007, la loi d'orientation agricole permet *la vente d'huile végétale pure en vue de son utilisation comme carburant agricole ou pour l'avitaillement des navires de pêche professionnelle. Le code des douanes est ainsi modifié :« Les huiles végétales pures, utilisées dans les conditions prévues à l'article 265 quater comme carburant agricole dans les exploitations agricoles bénéficient d'une exonération de la taxe intérieure de consommation. »*

Ceci relance l'intérêt **« d'un carburant agricole » pour l'autonomie en carburant de l'agriculture française.**

...

2. Les carburants en agriculture

Le secteur énergétique en agriculture

L'agriculture représente moins de 1% des besoins énergétiques nationaux : environ 4 000 tep. Mais cette consommation double si l'on tient compte des usages domestiques des ménages agricoles.

➤ Le fuel domestique

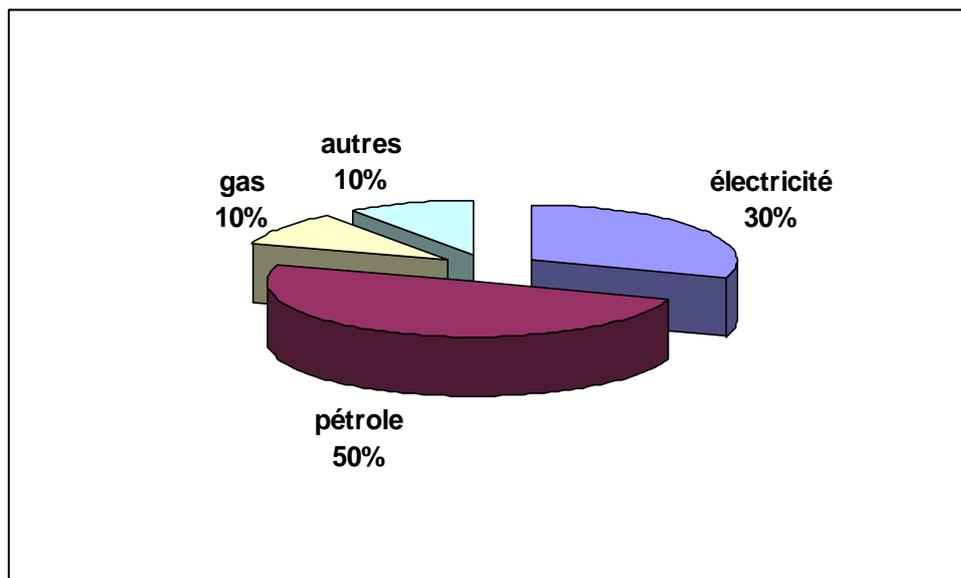
En agriculture, le fuel domestique représente plus de 50% des besoins en énergie. Il est exclusivement utilisé par les **moteurs de tracteurs**.

➤ L'électricité

L'électricité est la seconde énergie la plus consommée en agriculture. Elle représente environ 30% des besoins. Ses usages sont plus variés : elle est consommée à 25% par les **salles de traite et les laiteries**, à 20% par les **locaux d'élevage** et par l'**irrigation**.

➤ Le propane et le butane

Représentent 10% des besoins utilisés à 50% par les locaux d'élevage et à 40% par les serres.



Consommation d'énergie finale en agriculture par sources. (sans les intrants)

Ces dernières années, le nombre d'exploitations agricoles a fortement diminué. Les consommations en énergie du secteur agricole ont augmenté, ce qui montre que peu d'actions de maîtrise de l'énergie en agriculture ont été conduites. La moyenne se situe à 5,8 tep/exploitation ; les plus gourmandes sont les exploitations horticoles et productrices de légumes frais (20 tep/exploitation) suivies par les élevages hors sol (14 tep/exploitation). Les exploitations de grandes cultures se situent à peu près dans la moyenne, mais vu leur nombre, elles représentent 24% de la consommation énergétique agricole. Pour la consommation domestique des ménages agricoles, c'est le bois qui arrive en tête (plus de 50%) suivi par l'électricité (environ 25%)

(source Ademe)

3. Les différents biocarburants dès aujourd'hui utilisables en agriculture.

Pour tous les usages stationnaires (production de chaleur, d'électricité, pompage, irrigation) on peut utiliser :

- les résidus et sous produits agricoles selon les conversions suivantes :
 - combustion-vapeur-force motrice
 - gazéification-combustion-force motrice (voie thermochimique : production de CO et H₂)
 - biodigestion-combustion-force motrice (voie biochimique : production de CH₄)

Notons que la technologie la plus achevée concerne la voie combustion-vapeur-production d'électricité à partir des résidus agricoles dans les grands centres d'usinage agro-industriels.

- tous les biocarburants liquides (voir paragraphe suivant)

Pour les usages mobiles (tracteurs, machines de récoltes, camions de transports) l'usage des biocarburants liquides est le plus adapté. On peut citer :

- l'éthanol (alcool de canne à sucre, de betterave,...) ;
- les huiles végétales naturelles ;
- les dérivés d'huiles végétales : esters méthyliques ou éthyliques.

Biocarburants ou agrocarburants ?

le terme d' « agrocarburant » permet de comprendre l'origine agricole du carburant (ce qui est vrai pour les biocarburants dits de première génération) alors que celui de « biocarburant » tend à faire croire que ces carburants proviennent d'une « culture biologique », c'est-à-dire sans engrais ni pesticides chimiques, ce qui n'est pas forcément (et certainement rarement) le cas.

L'origine vient de la traduction de l'anglais « Biofuels » ou « fuels from biomass ». Il faut donc entendre « carburants issus de la biomasse » et non « carburants biologiques ».

Destination des biocarburants, les huiles végétales et dérivés sont adaptés aux moteurs « diesel » et les bioéthanol aux moteurs « essence ».

	Gazole	Essence	Bioéthanol (95)	Huile de colza
Densité (kg/dm ³)	0.83	0.75	0.79	0.92
Pouvoir Calorifique Inférieur (kJ/kg)	43800	44000	26900	39500
Pouvoir comburivore (g air/g carburant)	15.00	14.60	8.9	14.50
Indice d'Octane (IOR)	20	98	106	12
Indice de Cétane	50	15	5	37

Tableau : caractéristiques comparées des produits pétroliers et agro carburants utilisés en agriculture.

Du tableau ci-dessus on remarque que les indices techniques des produits pétroliers, indice d'octane et indice de cétane, prédisent une première substitution « Gazole/Huile de colza » et une autre « Essence/Bioéthanol ». Ce qui se confirme en pratique.

Notons que l'usage de l'éthanol dans des engins agricoles est très peu répandu. Le Brésil réserve son bioéthanol aux véhicules légers à essence. Cependant il est possible d'utiliser l'éthanol dans des moteurs diesels. Ceci peut se faire selon trois voies :

- *En mélange dans les fiouls(jusqu'à 20 % maximum avec additif)*
- *En modifiant mécaniquement les moteurs (car l'éthanol est plutôt un substitut des essences)*
- *En ne modifiant pas les moteurs mais en incorporant un additif spécial dans l'éthanol*

4. Avantages des huiles végétales carburant

Avant de détailler les contraintes techniques d'utilisation des huiles végétales, il est bon de rappeler les avantages qu'elles présentent pour l'agriculture en particulier.

Parmi les solutions possibles de biocarburants utilisables en agriculture, celle des huiles végétales naturelles présente un grand intérêt et mérite d'être considérée quelle que soit la taille des exploitations agricoles et le contexte de la production.

Ces avantages sont les suivants :

- Les huiles végétales naturelles ont des propriétés énergétiques proches de celles du fioul. Produites par l'agriculture, elles ne sont pas un substitut direct de l'essence mais bien du gazole qui est le « carburant agricole numéro un ». Par ailleurs les huiles végétales se mélangent très bien aux fiouls.
- Ce « carburant agricole potentiel » peut être produit directement sur l'exploitation.
- **L'huile végétale est issue de cultures annuelles ou de plantations pérennes existantes. L'impact sur l'écosystème local est aisément évaluable.**
- Les moyens de production s'appuient sur des techniques et des technologies disponibles et existantes en petites, moyennes ou grandes capacités.
- La qualité requise en tant que carburant n'est pas aussi exigeante que pour l'alimentation humaine. Les stockages et transferts, s'ils exigent de la propreté, ne nécessitent pas de matériaux alimentaires. Une huile impropre à la consommation humaine peut être utilisée comme carburant.
- Leur utilisation en tant que biocarburant peut se faire selon deux voies :
 - en tant que carburant industriel par trans-estérification à l'aide d'un alcool (méthylique ou éthylique).
 - en tant que carburant local en circuit court d'autoconsommation. Dans ce cas on privilégiera l'usage sous leur forme naturelle.

La première voie nécessite une transformation chimique sophistiquée si l'on ne veut pas générer trop de pertes lors de l'estérification. Cette voie s'applique aux moyens ou gros systèmes. Elle s'éloigne souvent des exploitations agricoles.

La seconde voie peut s'envisager sur les lieux de production de la matière première. Elle est rapidement applicable et peut ne pas nécessiter d'intrants souvent onéreux.

- L'agriculture produit de cinq à dix fois l'énergie qu'elle consomme. Cette énergie se présente sous la forme de produits alimentaires énergétiques et de sous-produits utilisables pour produire de l'énergie (bagasse de canne à sucre par exemple). Mais aujourd'hui l'agriculture moderne dépend de la mécanisation. Laquelle est totalement dépendante de carburant liquide.
- Elles présentent un intérêt environnemental :
 - En matière de rejets à l'échappement, la combustion des huiles végétales :
 - Reste dans les limites de taux de polluants fixés et bénéficient des progrès en matière de dépollution des gasoils
 - Ne participe pas à l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère, 1000 litres d'huile végétale permettent d'éviter 3,2 tonnes de CO₂ fossile (si l'on effectue les cultures, le séchage des graines et la fabrication de l'huile avec des outils l'utilisant comme carburant).

L'intérêt du circuit court d'autoconsommation d'huile végétale naturelle est qu'il peut produire le carburant nécessaire à la production agricole dans un rapport proche de l'idéal qui est de 1 pour 10. Autrement dit, si je dispose de mécanisation, avec un hectare de tournesol ou de colza, je peux produire 9 hectares d'oléagineux alimentaires sans recours à du carburant pétrolier. Enfin, l'intérêt, pour des Unités de production agricoles petites ou moyennes, c'est qu'ainsi elles peuvent produire sur place trois choses :

- le produit oléagineux alimentaire
- le carburant nécessaire à la production
- le sous-produit (tourteau) utilisable directement en alimentation animale.

L'intérêt des huiles végétales en tant que carburant des moteurs à cycle Diesel n'est pas nouveau. Il semble même étonnant aujourd'hui de constater que dans les années 20, ingénieurs et chercheurs se soient consacrés à l'étude de carburants végétaux (voir Chap. 10).

En conclusions :

Parmi les sources d'énergie produites par l'agriculture, les huiles végétales sont des substituts du fioul, premier carburant agricole. Elles peuvent être directement produites sur place en circuit court. Elles offrent le complément en carburant pour assurer une augmentation de la production agricole. Elles ne génèrent pas de rejets indésirables, au contraire ses sous-produits sont utilisables en agriculture et élevage.

5. Le colza² : du champ au réservoir

1 Le colza en Europe

En Europe(25), les surfaces en colza progressent régulièrement depuis 2000 (100 000 ha supplémentaires par an), surtout en Allemagne et au Royaume-Uni. Elles sont évaluées à environ 4,5 millions ha (dont un peu plus de 1million ha dans les nouveaux Etats membres). L'année 2004 a atteint des niveaux de production record avec 20 % de plus que la moyenne sur les 5 récoltes précédentes.

Les cinq principaux producteurs de colza (90 % de la production) sont :

✓ l'Allemagne (5,2 Mt), soit 1/3 de la production	36 %
✓ la France (4 Mt), soit 1/4 de la production	27 %
✓ le Royaume-Uni (1,7 Mt)	12 %
✓ la Pologne (1,4 Mt)	9 %
✓ la République Tchèque (0,9 Mt)	6 %

Pour l'ensemble des pays européens, la moyenne des rendements s'est établi à 34 q/ha en 2004 (avec un maximum de 41 q/ha en Allemagne).

En comparaison, au niveau européen, les surfaces de tournesol ont diminué en 2004 (gel des cultures d'hiver) et sont revenues au niveau de 2002 avec 3,7 Mt (- 8 % par rapport à 2003).

Les principaux producteurs de tournesol sont :

✓ la France (1,4 Mt)	38 %
✓ la Hongrie (0,9 Mt)	24 %
✓ l'Espagne (0,8 Mt)	22 %

La prochaine vague d'élargissement de l'Union européenne fera entrer la Roumanie et la Bulgarie, gros producteurs de tournesol.

Le rendement moyen par hectare (entre 20 et 25 qx/ha d'après les statistiques agricoles)³ est nettement plus faible que celui du colza (rapport de 3 pour 2).

² Le choix d'étudier le colza plutôt que le tournesol, par exemple, tient aux contraintes du calendrier universitaire. Les congés d'été en juillet et août rendent difficile l'entretien d'une parcelle de tournesol sur les champs d'expérimentation de l'IUT.

³ Il est plutôt estimé à 25-30 qx/ha actuellement.

En 2004, en Europe, le soja, après une hausse de 12 % par rapport à 2003, a vu sa production s'élever à 780 000 tonnes, avec l'Italie comme principal producteur (500 000 t).

D'autres production d'oléagineux sont pratiquées (lin, pastel...) mais en quantités moins significative.

Europe : Production d'oléagineux en millions de tonnes

	Graines	Huile (1/3)	Tourteaux (2/3)
Europe	20,0	6,8	13,2
France	5,5	1,9	3,6
<i>Dont Tournesol</i>	<i>1</i>		

Sources : PROLEA + Statistiques agricoles annuelles 2004

Europe : Production d'oléagineux majoritaires

	Europe		
	Millions de tonnes	Millions d'ha	Rendement q/ha
Colza	15,2	4,5	33,8
Tournesol	4,1	2,1	19,5
Soja	0,7	0,3	23,3
Total	20	6,9	-

Source : Proléa

2 Le colza en France

Les surfaces en oléagineux sont à peu près stables depuis 2003 et s'établissent à 1,8 milliers d'ha. La moyenne des rendements sur 5 ans a été de 28 q/ha (tous oléagineux); elle a été plus importante en 2004 (conditions climatiques favorables) puisqu'elle dépasse 31 q/ha.

France : Production d'oléagineux en 2004

	France		
	Millions de tonnes	Millions d'ha	Rendement q/ha
Colza	3,9	1,1	35,5
Tournesol	1,4	0,6	23,3
Soja	0,2	0,06	33,3
Total	5,5	1,8	-

Source : Proléa

Cette production est inégalement répartie sur le territoire et se situe essentiellement dans la moitié Nord du pays et le Sud-Ouest (voir carte suivante).

Le colza

Cette production concerne essentiellement la moitié Nord de la France. Avec une moyenne sur 5 ans de 30 q/ha, le colza poursuit sa progression (+ 5 % de surfaces en 2003 et + 4 % en 2004) et a atteint en 2005 un rendement moyen de 35,5 q/ha. La production française de colza a été supérieure à 20 % par rapport à l'année précédente.

En 2003, les cultures industrielles (hors et sur jachère) se sont élevées à 292 000 ha (avec un taux de jachère de 10 %).

En 2004, la Commission Européenne a décidé d'abaisser le taux de jachère de 10 à 5 %. Les surfaces de colza industriel non alimentaire ont alors été ramenées à 276 000 ha (- 20 %), dont 152 000 ha sur jachère.

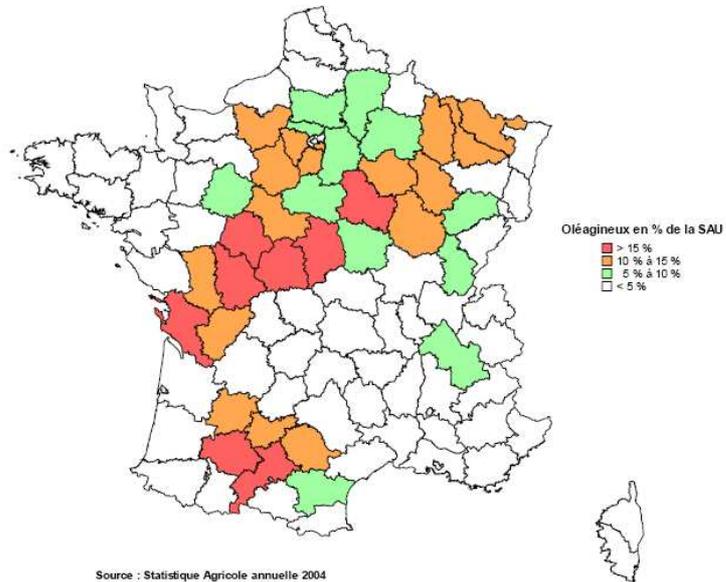
L'Aide aux Cultures Energétiques (ACE) concerne 126 000 ha, soit 45 % des cultures industrielles d'oléagineux (voir carte en annexe).

On trouvera en annexe 1 un dossier sur les perspectives d'évolution du colza en France.

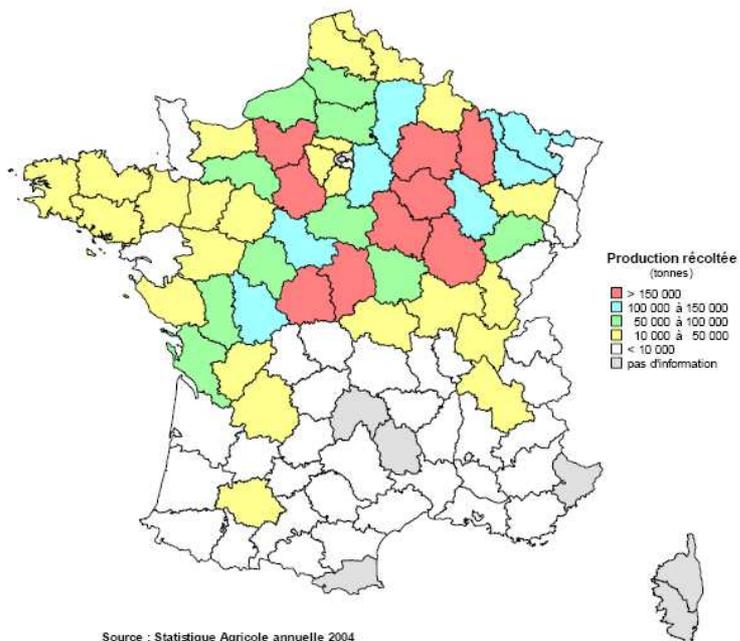
Région	Tournesol			Total colza		
	Superficie (ha)	Rendement En t/ha	Production récoltée En tonnes	Superficie (ha)	Rendement En t/ha	Production récoltée En tonnes
AQUITAINE	41 195	2,4	99 770	6 595	2,9	19 452,0
MIDI-PYRENEES	169 570	2,1	3 61 946	18 400	2,9	52653,0
LANGUEDOC-ROUSSILLON	20 260	1,9	37 505	1 840	2,9	53 48,0
PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR	7 680	2,3	17 817	1 493	2,2	32 82,5

Source : Statistique agricole annuelle 2004

Carte surface oléagineux



Carte production colza



6. Les filières de production d'huile de colza

1. Production industrielle

La production industrielle permet d'obtenir un haut rendement en huile à partir des graines de colza et de tournesol. Après stockage et tamisage dans des silos, la production d'huile se déroule en plusieurs phases :

a. Pression

Les graines sont aplaties par des cylindres et transformées en « flocons ». Ces derniers sont « cuits » à 80°C pour faciliter l'extraction de l'huile lors de leur passage dans une presse. On obtient alors :

- De l'huile de pression (tamisée et séchée sous vide à 100°C pour pouvoir être conservée dans de bonnes conditions). Cette huile est directement raffinée pour obtenir des huiles de première pression.
- Des tourteaux gras contenant 12 à 20 % d'huile.

b. Extraction

Cette opération consiste à extraire l'huile du tourteau gras à l'aide d'un solvant alimentaire (l'hexane). A l'issue de cette phase, on obtient :

- du marc à 20-30 % d'hexane,
- du miscella (mélange de solvant et d'huile).

On procède alors aux deux phases suivantes :

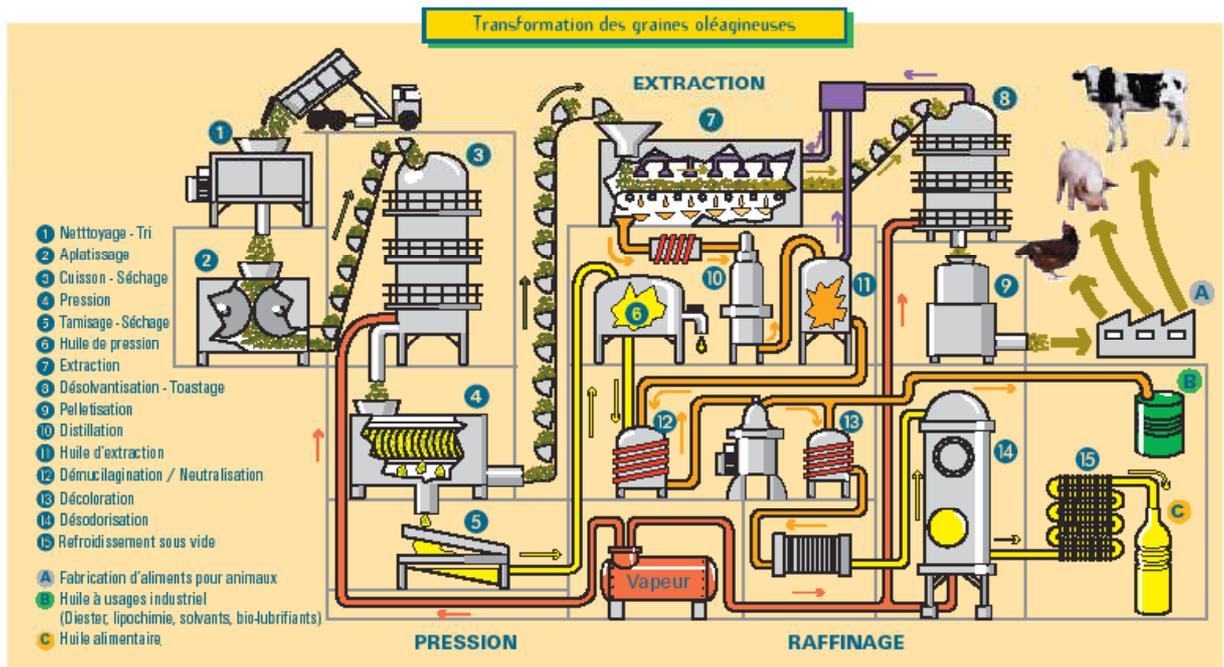
- la distillation du miscella (chauffage sous vide puis condensation pour séparer les deux composants). On obtient alors une « huile brute d'extraction » qui sera séchée sous vide à 100°C pour sa conservation.
- La désolvantation du tourteau par passage à la vapeur dans une tour. Le tourteau sort sous forme de granulés et ne contient plus que 2 % d'huile.
- Le solvant est récupéré et réutilisé dans le process.

c. Raffinage

Les huiles de pression ou d'extraction ne sont pas directement utilisables pour l'alimentation ou des usages non alimentaires (odeurs, goût, couleur,...). Le raffinage permet d'éliminer les composés gênants :

- Les phospholipides sont éliminés par brassage avec de l'eau acidulée et centrifugation,
- Les acides gras libres sont séparés au moyen d'une solution de soude ; la centrifugation élimine les savons puis on lave l'huile (neutralisation du goût),
- La décoloration s'effectue par brassage à 90°C avec de la terre décolorante puis une filtration ;
- On élimine les cires du tournesol.
- Une désodorisation est pratiquée à l'aide de vapeur d'eau à 150-180°C sous un vide 2-4 mbars pour éliminer les composés volatils.

L'huile est ensuite refroidie sous vide pour être stockée. L'ensemble du processus industriel décrit ci-dessus aboutit à un produit stabilisé qui peut être stocké sur une longue durée.



Source : Brochure Proléa « Des graines aux huiles »

2. Production artisanale

La production artisanale d'huile végétale pure s'effectue en trois étapes :

- ✓ le pressage/trituration à froid, sans modification chimique, permet d'obtenir 1/3 d'huile et 2/3 de tourteau
- ✓ la décantation qui supprime les grosses impuretés
- ✓ la filtration.

Les équipements de l'huilerie (silo de stockage des graines, presse, cuves de décantation et filtre) peuvent être installés dans un hangar ou un garage.

a. *Pressage/trituration*

La trituration est optimisée avec un taux d'humidité compris entre 5 et 8 % et un taux d'impuretés inférieur à 2 %. Un réglage correct de la moissonneuse batteuse peut suffire⁴.

Une vis sans fin alimentant une presse permet de produire de l'huile de première pression à froid et du tourteau. Les débits varient de 4 à 1 800 kg de graines pressées par heure, selon la dimension de l'installation. Il est possible de presser différents types de graines oléagineuses avec la même presse.

Le prix des presses s'échelonne de 1 500 € à plus de 150 000 €, c'est pourquoi il est important de définir les besoins avant de choisir la presse.

Toutes les presses sont équipées d'une vis, mais la cage de presse et la forme de la vis sont différentes d'un matériel à l'autre :

- ✓ **Presse à barreaux (40kg/h à plus de 2 000 kg/h)** : l'huile passe à travers des barreaux ou des anneaux dont l'espacement est réglable en fonction du type de graines à presser. Un diamètre croissant de la vis augmente la pression sur les graines. L'espacement en sortie de presse est également réglable, les tourteaux sortent sous la forme de plaquettes ou écailles.
- ✓ **Presse à vis (< 50 kg/h) pour les petites capacités**. Le corps de la presse est percé pour permettre l'écoulement de l'huile au fur et à mesure du pressage. La vis présente un diamètre croissant pour augmenter la pression en fin de parcours des graines. Les tourteaux passent dans des buses interchangeables dont ils épousent la forme. Une bague de réchauffement évite les blocages dans les buses au démarrage. Les tourteaux sortent sous forme de granulés.

Selon le type de presse, on obtient des tourteaux avec des teneurs en matières grasses différentes allant de 7 à 25 %. Le rendement d'extraction est lié à la vitesse de rotation de la vis et au diamètre de la buse de sortie⁵ : plus la vitesse de rotation est faible et le diamètre de la buse réduit, plus le rendement d'extraction est élevé. Toutefois dans ce cas, le rendement horaire décroît.

Il faut privilégier une pression à basse température. Un cisaillement trop important des graines produit une élévation de température de l'huile. **On ne**

⁴ D'après C. Lachaise, JP. Couvreur, CIVAM DEFIS, FDCUMA Mayenne. Etude Faisabilité sur l'utilisation d'huile végétale pure pour la production d'énergie en agriculture, mars 2004

⁵ Tests de Valbiom, cités par MH. NOVAK, JM. JOSSART « Diversification agricole : guide pour la production et les débouchés d'huile et de tourteau de colza à la ferme ». Juin 2004

dispose pas d'étude comparative précise sur les différences d'élévation de températures de l'huile selon les deux systèmes. Ce point est pourtant important, car une température élevée favorise la libération dans l'huile des phospholipides contenus dans les parois cellulaires des graines. **Ces derniers sont des facteurs d'encrassement lors d'une utilisation dans des moteurs ou des brûleurs.** Précisons que l'apparition de phospholipides en quantités indésirables est surtout liée au pressage du colza. Ce n'est généralement pas le cas pour les graines de tournesol qui, en revanche, génèrent des cires tout aussi indésirables.

b. Décantation

La décantation est la manière la plus simple et la moins coûteuse pour nettoyer l'huile (les particules se déposant en fond de cuve). Cependant, cette technique engendre une perte d'huile dans le sédiment.

Selon les utilisateurs et la température (la viscosité augmente si la température baisse), les durées de décantation s'échelonnent de 72 h à plus d'une semaine, mais il ne faut pas dépasser 3 mois entre le pressage et la filtration pour limiter l'oxydation.

c. Filtration

Pour utiliser l'huile dans un moteur ou comme combustible en chaudière, il est nécessaire de nettoyer l'huile par filtration. Celle-ci s'effectue soit directement en sortie de presse, soit après des phases de décantation.

Pour éviter l'encrassement des filtres à gazole des moteurs, il faut une filtration minimum de l'huile de 5 μm , mais on peut affiner jusqu'à un diamètre de 1 μm .

La filtration de l'huile de colza s'effectue à température ambiante, mais pour le tournesol il est impératif de filtrer à moins de 15°, afin que les cires solidifiées soient piégées dans le filtre.

Trois types de filtres sont utilisés :

✓ Les filtres à cartouche

Les cartouches, qui doivent être changées tous les 6 000 à 8 000 litres, éliminent les particules $>$ à 1 μm . Ces filtres sont interdits pour les usages alimentaires en raison des composés utilisés pour leur fonctionnement.

✓ Les filtres à plaques

Des cadres de filtration en coton ou en polypropylène retiennent les impuretés. L'huile est « recirculée » à travers le « gâteau » formé par les impuretés jusqu'à ce qu'on atteigne le degré de filtration souhaité (filtration par accumulation).

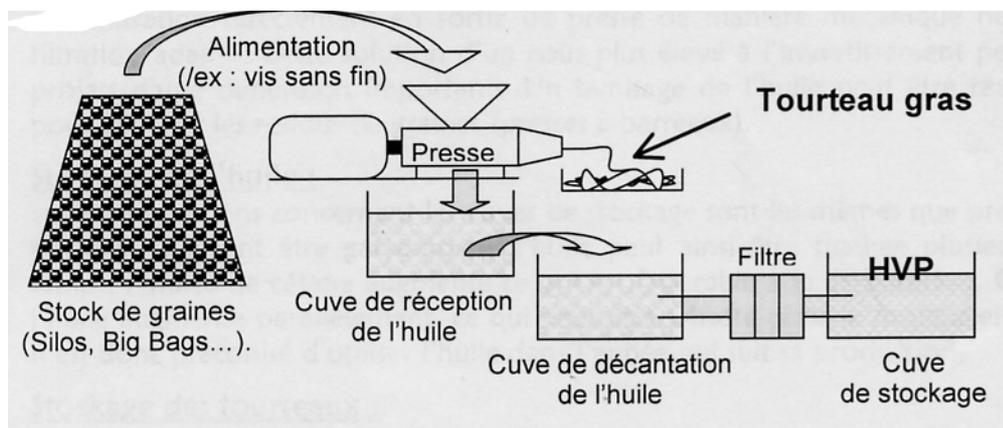
Une autre technique consiste à faire passer l'huile sous pression entre les cadres (filtration tangentielle). L'huile ne fait alors qu'un seul passage.

✓ Les filtres à poches

Des poches existent en différentes matières et plus plusieurs grades de filtration (100 à 1 µm). La plupart sont lavables et peuvent être utilisées 3 à 4 fois. Ces poches sont adaptées aux petites productions (< 1000 litres/jour) telles que celles des circuits courts.

Il existe de nombreuses presses à froid de différentes capacités, mais seuls quelques modèles sont utilisés en France (TÄBY 55, Mécanique Moderne, Oléane 50, Oekoteck et Reinartz APO8).

Pour la filtration, de nombreux filtres sont disponibles sur le marché mais seuls quelques-uns sont utilisés, souvent pour des raisons de disponibilité ou parce que les vendeurs de presses fournissent le filtre.



Source : Chambre agriculture Lot et Garonne « Huile Végétale pure, production et valorisations à la ferme et IFHVP

7. Les produits issus des huileries et leurs utilisations

Comme on l'a vu précédemment, on obtient deux produits principaux en sortie d'huilerie :

- ✓ l'huile végétale pure
- ✓ les tourteaux

1. L'huile végétale pure

Elle est principalement utilisée pour l'alimentation mais peut être également utilisée comme carburant ou combustible. Cependant, l'huile végétale pure n'a pas les mêmes caractéristiques que le fioul.

De ces caractéristiques, il ressort que par rapport au fioul :

- ✓ Le délai d'inflammation des vapeurs ou du produit est plus long (points éclair supérieurs)
- ✓ L'acidification de l'huile végétale pure entraîne une oxydation de l'huile préjudiciable à sa stabilité au stockage
- ✓ Il faut éviter la présence des phospholipides (par un pressage à froid à la ferme plutôt qu'un procédé industriel à chaud) pour éviter des dépôts dans le moteur
- ✓ Le tournesol commence à figer à $- 0^{\circ}$, le colza à $- 11^{\circ}$ (le fioul à $- 35^{\circ}$) ; l'utilisation d'huile végétale pure en hiver peut poser des problèmes de solidification des huiles dans le réservoir

Les normes allemande et autrichienne de qualité pour un usage carburant et combustible sont théoriquement respectées par l'huile végétale pure, lorsque celle-ci est produite par pression à froid⁶ dans une chaîne de production bien maîtrisée par l'exploitant (y compris la délicate phase de filtration finale).

En matière de production d'HVP, la situation actuelle peut être résumée dans l'encadré suivant :

<ul style="list-style-type: none">■ PRESSAGE<ul style="list-style-type: none">■ Des presses sont disponibles. Elles satisfont aux besoins■ Il y a des fournisseurs+garantie+SAV■ FILTRATION / TRAITEMENT<ul style="list-style-type: none">■ Itinéraires non définis■ Matériels inadaptés■ Résultats non garantis■ QUALITE DE L'HUILE<ul style="list-style-type: none">■ Sensibilisation : très positif■ Compréhension des critères : faible■ Résultats : très bons sur colza (à valider sur tournesol)
--

⁶ Projet TRICOF, mesures Novak et Jossart

Les presses disponibles sur le marché satisfont aux besoins y compris pour le pressage à froid. En revanche les équipements de filtration sont encore trop souvent inadaptés voire inefficaces. **Il y a un travail à faire sur la définition d'itinéraires de production depuis le pressage jusqu'au stockage en passant par la filtration et le traitement des HVP.**

Cependant il est à remarquer une amélioration significative de la qualité des HVP produites aujourd'hui comparées à celles d'il y a dix ans. Une enquête sur les qualités de lots d'huile de colza et de tournesol issues de circuits courts avait été effectuée par le Cirad en 1996. Le même type d'analyses est en cours au Cirad qui a déjà reçu un peu plus de 50 échantillons venant de toute la France :

- Sur le colza la qualité s'est nettement améliorée, les taux de phosphores moyens qui étaient de 50 à 100 ppm sont aujourd'hui tous inférieurs à 12 ppm avec une moyenne de 6 ppm. On retrouve la même tendance sur Ca et Mg. Les teneurs en eau sont très faibles.
- Sur le tournesol, on pourrait s'attendre aux mêmes constats. Mais les taux de phosphores sont généralement faibles alors que le taux de cires peut dépasser 1000 ppm. Actuellement l'analyse des cires est délicate et coûteuse et n'est donc pas pratiquée sur les lots reçus au Cirad. Or ces cires posent de vrais problèmes pour les filtres et provoquent des encrassements des chambres de combustion. Le décirage artisanal est difficile à opérer et cher. **Pour valider les itinéraires de production d'HVP tournesol, il serait nécessaire de développer une méthode de dosage moins coûteuse.** (Un seuil de 500 ppm maximum peut être un critère utilisable).

Il semble que la diffusion de la norme allemande de qualité d'huile de colza Biocarburant ait sensibilisé les exploitants d'huileries qui apportent plus de soins à leur production malgré les difficultés qu'ils rencontrent lors de la filtration.

Il se développe des démarches de production d'HVP de qualité. Celle de l'IFHVP (Institut Français des Huiles Végétales Pures) s'appuie sur une qualification de la chaîne de production avec des contrôles réguliers par analyses et validation du label **Végétole®** au regard des exigences de la norme allemande DIN 51605.

Végétole® : L'analyse de l'HVP

➤ Laboratoire d'analyse : IESPM (France)

✓ Basé sur la norme DIN 51605
(réfèrent)

✓ Création de séquences types pour l'HVP

➤ Paramètres analytiques :

✓ Phosphore

✓ Contamination totale

✓ Eau

✓ Acidité



Seuils Végétole®

10 ppm

24 ppm

750 ppm

2 mg KOH/g

Seuils de validation du label Végétole IFHVP.

2. Le tourteau

Les graines et tourteaux de colza ou de tournesol présentent un intérêt comme aliment chez différentes espèces animales. Les critères techniques et économiques à étudier pour l'utilisation des tourteaux gras sont :

- ✓ La qualité nutritionnelle (taux de cellulose, teneur en matière grasse, azote) et le seuil d'incorporation pour les différents types d'élevages.
- ✓ Le prix d'opportunité calculé en fonction de la valeur énergétique et des taux de protéines et de lipides assimilables.

Pour l'alimentation animale, les tourteaux ne peuvent se conserver au-delà de 3 mois (rancissement diminuant l'appétence), sauf s'ils subissent un séchage ou un traitement antioxydant.

Les tourteaux industriels contiennent en général 2 % de matière grasse résiduelle alors que la teneur en matière grasse du tourteau issu de pressage à la ferme est beaucoup plus élevée (7 à 25 %), en fonction du type de presse, des réglages et des caractéristiques des graines⁷.

⁷ JM LAMY, Chambre d'Agriculture Maine et Loire- Tourteaux fermier, enquête en élevage et valorisation par les vaches laitières.

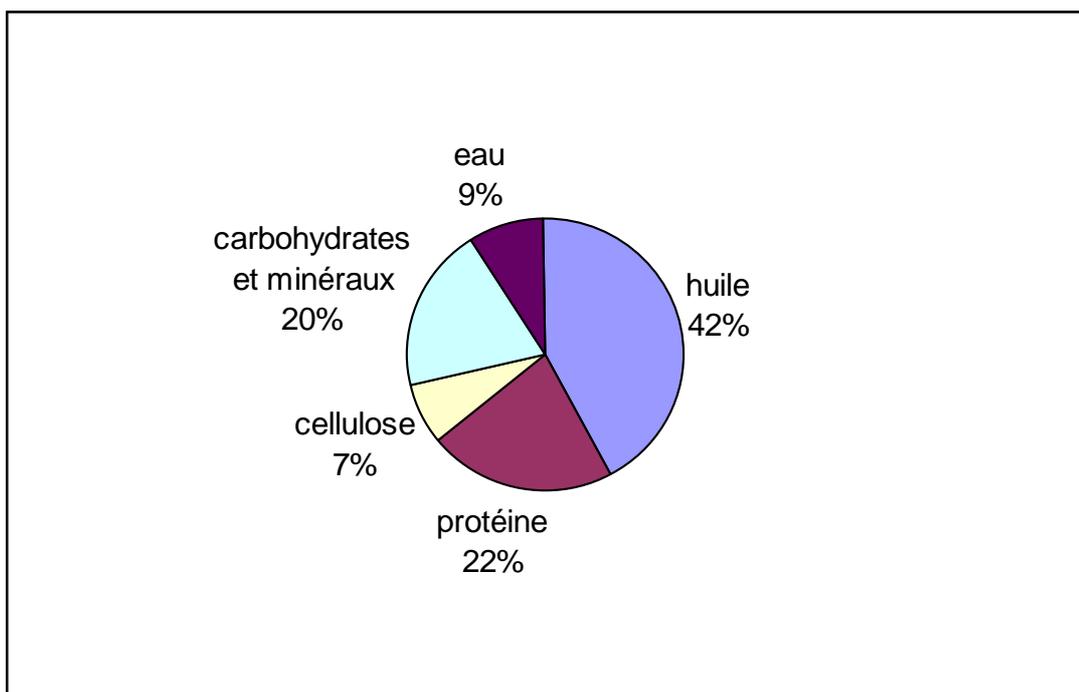
Alors que le taux d'huile dans la graine est relativement constant (46,5 à 49,6 % du produit brut), la variabilité de la teneur en huile du tourteau est par contre importante (9 à 24 % du produit brut).

Ces larges plages d'efficacité des pressages semblent se réduire depuis l'apparition de modèles de presses mieux adaptés et grâce à la circulation d'informations sur les « bonnes pratiques ». De récents résultats indiquent des taux d'huile résiduelle ne dépassant pas 15 %⁸

Ces tourteaux riches en huiles résiduelles ont fait l'objet de plusieurs tests auprès d'éleveurs dont les conclusions convergent vers un intérêt quand ils rentrent dans la composition des rations en substitution au soja et à l'orge pour des bovins.

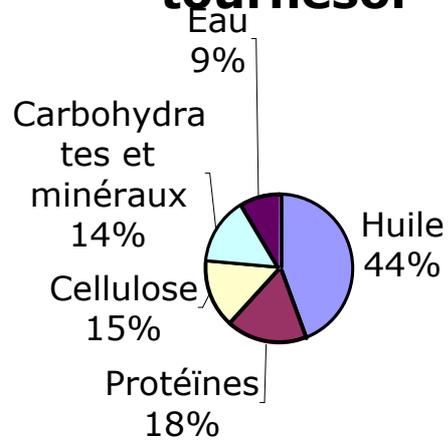
Les tourteaux peuvent également être valorisés :

- ✓ En tant qu'amendement/fumure évitant ainsi les engrais ; ces derniers représentant 50 % du coût énergétique de production des graines mais seulement 28 % des charges opérationnelles du colza et 16 % pour le tournesol (source Tessier - Index des prix et normes agricoles - Lavoisier 2005) ;
- ✓ Comme combustible dans des chaudières à granulés, sous réserve d'avoir résolu les problèmes d'alimentation (produit huileux augmentant les risques d'incendie).

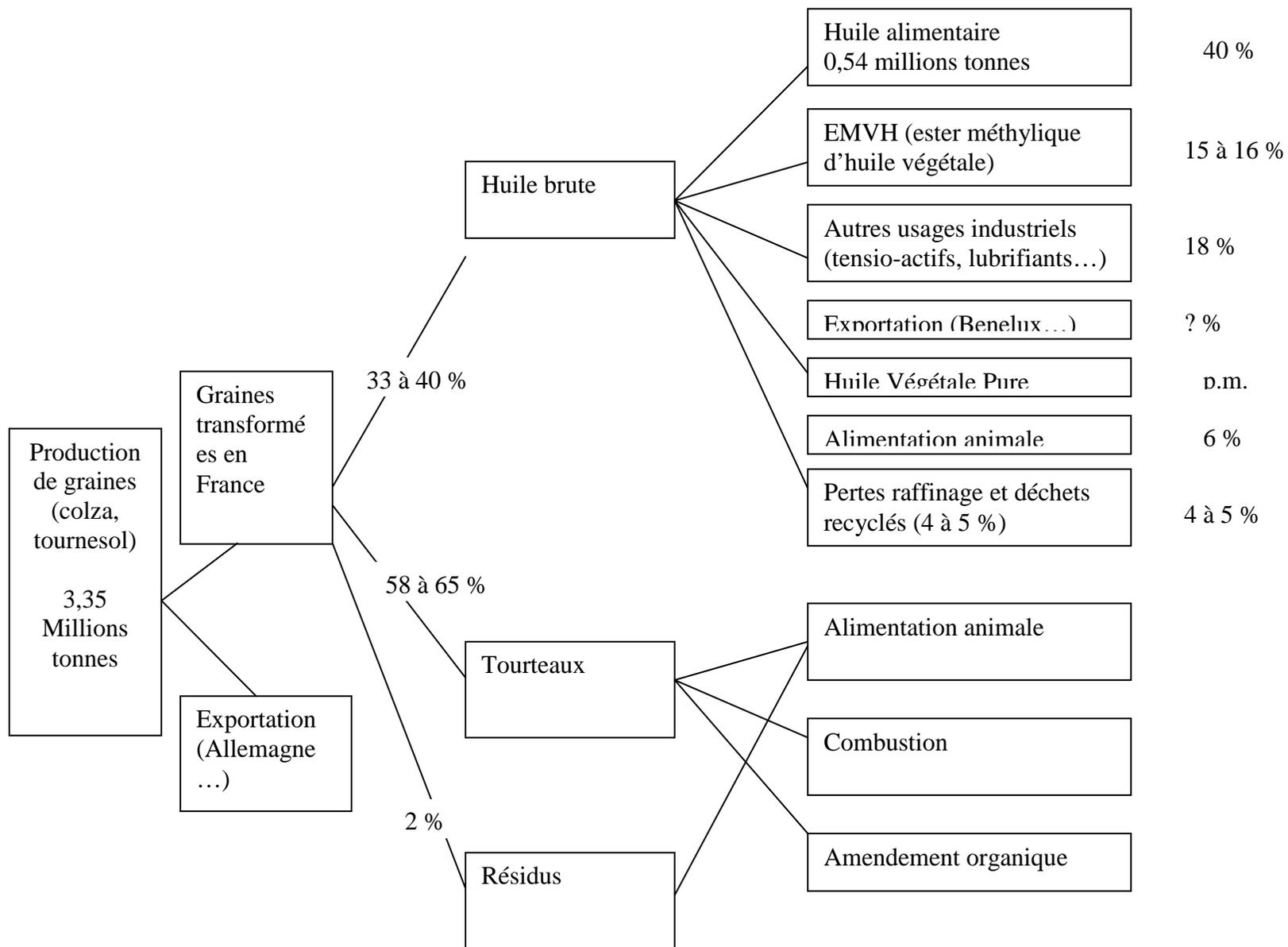


⁸ A. LIENNARD, Cirad, février 2006.

Composition des graines de tournesol



Cycle de production/transformation et d'utilisation des oléagineux (colza et tournesol) en France – Sources : AGRESTE – février 2006



8. Productivité agricole et bilan énergétique de la filière huile végétale

a) Productivité agricole à l'hectare

Production de biomasse par hectare et par an

	Tonnes/ha	PCI MWh/t	MWh/ha.an	Indice	Co-produits
Colza	1,2	10,8	13 (23 avec tourteaux)	25 (44)	2,1 t tourteaux
Tournesol	0,8	10,8	8,6 (15,2 avec tourteaux)	16 (29)	1,4 t tourteaux
Paille (en Aquitaine)	2,5-3	4	12 (43,6 avec grains)	23 (83)	7,5 t blé
Miscanthus sinensis (roseau de Chine)	28 (18t MS)	3,2	90	172	
TCR (peupliers)	18 (10 t MS)	2,9	52,2	100	
Production forestière traditionnelle (1^{ère} éclaircies, coupes rases)	5 à 8	2,9	14,5 à 23,2	28 à 45	

Sources : Oil World Annual – ISTA 2000, CIRAD 2003 et Chambre Agriculture Centre 2005

En Europe, la productivité des oléagineux en équivalent énergétique (kWh/ha et par an) est faible, y compris en prenant en compte les tourteaux, lorsqu'on la compare à la productivité des oléagineux tropicaux (huile de palme...) ou à celle des cultures ligno-cellulosiques comme les taillis à croissance rapide ou les roseaux de Chine (rapport d'énergie brute récupérable de 1 à 4, voire à 6 par hectare cultivé).

Ce constat conduit donc à orienter la réflexion sur l'utilisation des huiles végétales vers des utilisations énergétiques à très haute valeur ajoutée comme les moteurs pour l'irrigation ou des groupes électrogènes.

La combustion directe pour la production de chaleur peut en effet être obtenue à partir de biocombustibles solides d'origine agricole ou forestière (bois déchiqueté, granulés...) dont la productivité à l'hectare est beaucoup plus élevée, et des prix du « MWh entrée chaudière » beaucoup plus faible.

On notera toutefois que les combustibles solides nécessitent des chaudières spécifiques assez coûteuses, ce qui n'est pas forcément le cas pour les huiles végétales, qui pourraient être brûlées sous certaines conditions, dans des chaudières et brûleurs à fioul domestique, après adaptation.

b) Bilan énergétique

1. Filière industrielle

Le pouvoir calorifique inférieur de l'huile végétale pure est de 10,9 kWh/kg (densité 0,92) et celui du tourteau industriel (2 % huile résiduelle) de 4,7 kWh/kg (source AGRICE).

A partir d'1 tonne de graines de colza on produit 410 kg d'huile et 555 kg de tourteau, soit 7 077 kWh d'énergie brute.

La culture d'1 ha de colza nécessite 5 978 kWh d'intrants énergétiques (engrais, carburant...), ce qui correspond à 1528 kWh /tonne graine produite.

A cette consommation d'énergie pour la production, il faut ajouter 347 kWh pour la transformation industrielle et 250 kWh pour le transport (sur 300 km).

La production, la transformation et le transport d'une tonne de graine exige donc une dépense énergétique de 2125 kWh.

On peut donc établir le bilan énergétique simplifié suivant :

Production d'huile + tourteau = 7 077 kWh /t

Consommation intermédiaire d'énergie = 2125 kWh/t

Production nette d'énergie = 4952 kWh/t .

Rappelons que plus on transforme la biomasse avant son utilisation, plus le rendement énergétique décroît. **En ce qui concerne les huiles, on peut considérer que chaque kWh consommé permet de produire 3,3 kWh d'énergies renouvelables. Ce bilan est plus favorable que pour la fabrication d'ester méthylique d'huile végétale (3 kWh produit pour 1 kWh consommé)⁹ et a fortiori d'éthanol carburant (2 kWh produit pour 1 kWh consommé)¹⁰. Cependant, elle est nettement plus faible que celle des biomasses lignocellulosiques d'origines agricoles ou forestières (de 15 à 20 kWh produits par kWh utilisé pour l'abattage/broyage/transport du bois déchiqueté par exemple).**

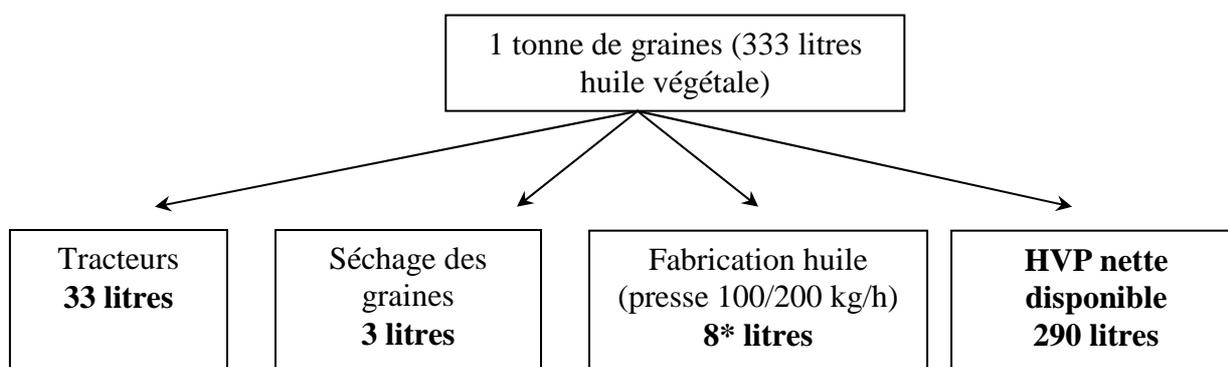
⁹ Rapport ADEME, décembre 2002 cité par le rapport PREVOT.

¹⁰ idem

2. Circuit court (artisanal ou à la ferme)

Le colza et le tournesol produisent environ 1 000 litres éq fioul par hectare (1 litre de fioul = 1,08 l HVN)

Bilan énergétique en circuit court



(*) en passant par un groupe électrogène « à huile végétale » dont le rendement global est de 30 %

Colza :

A partir d'1 tonne de graines de colza on produit 305 kg d'huile et 660 kg de tourteau à 12 % d'huile résiduelle, soit 7 080 kWh d'énergie brute.

Ms Graine	%	91,00
MG graines	% MS	46,15
MS tourteau	% MS	87,00
MG tourteau	% MS	13,79
Pertes essai	%	0
Masse de graines utilisée	kg	1000
Masse d'huile dans la graine	kg	420,00
Masse de tourteau prévisible	kg	653,33
Masse d'huile dans le tourteau	kg	78,40
Masse d'huile prévisionnelle	kg	341,60
Masse d'eau dans les graines	kg	90,00
Masse d'eau dans le tourteau	kg	84,93
Masse d'eau perdue	kg	5,07

Rendement huile % 81,3%

La culture d'1 ha de colza nécessite 5 978 kWh d'intrants énergétiques (engrais, carburant...), ce qui correspond à 1528 kWh /tonne graine produite.

A cette consommation d'énergie pour la production, il faut ajouter 25 kWh pour la transformation artisanale et 20 kWh pour le transport (sur 100 km).

La production, la transformation et le transport d'une tonne de graine exigent donc une dépense énergétique de 1573 kWh.

On peut donc établir le bilan énergétique simplifié suivant :

Production d'huile + tourteau = 7 080 kWh /t

Consommation intermédiaire d'énergie = 1573 kWh/t

Production nette d'énergie = 5 507 kWh/t.

On peut alors considérer que chaque kWh consommé permet de produire 4,5 kWh d'énergies renouvelables.

Tournesol :

A partir d'1 tonne de graines de tournesol on produit 350 kg d'huile et 590 kg de tourteau à 12 % d'huile résiduelle¹¹, soit 7 170 kWh d'énergie brute.

La culture d'1 ha de tournesol nécessite 3570 kWh d'intrants énergétiques (engrais, carburant...), ce qui correspond à 1190 kWh /tonne graine produite.

A cette consommation d'énergie pour la production, il faut ajouter 25 kWh pour la transformation industrielle et 20 kWh pour le transport (sur 100 km).

La production, la transformation et le transport d'une tonne de graine exigent donc une dépense énergétique de 1235 kWh.

On peut donc établir le bilan énergétique simplifié suivant :

Production d'huile + tourteau = 7 170 kWh /t

Consommation intermédiaire d'énergie = 1235 kWh/t

Production nette d'énergie = 5935 kWh/t.

On peut alors considérer que chaque kWh consommé permet de produire 5,8 kWh d'énergies renouvelables.

¹¹ Cirad : Résultats de l'opération Tournesol biocarburant en Midi-Pyrénées, 2002.

Dans le cadre d'un circuit court, on a un bilan énergétique (ratio énergie brute produite/énergie intermédiaire consommée) plus élevé qu'avec la filière industrielle, mais cet élément favorable est contrebalancé par un rendement d'huile extraite plus faible.

9. Traitements et qualité de l'huile de colza carburant

Les exigences de « qualité carburant » sont différentes de celle des huiles alimentaires. Elles dépendent également du type d'oléagineux traité : coprah et palme ne contiennent pas de cires comme le tournesol, lequel contient peu de gommes comparé au colza. Par ailleurs, elles sont liées au procédés d'extraction utilisé : les huiles brutes industrielles sont chargées de phosphore et de cires ce qui ne sera pas le cas des huiles artisanales. D'autre part, la qualité dépend de la manière dont on extrait l'huile mais aussi de la qualité de la graine ou du fruit récolté ainsi que de son stockage avant pressage.

Pour favoriser une certaine qualité de l'huile végétale carburant, il est nécessaire de ne pas laisser trop de temps entre la préparation et l'extraction.

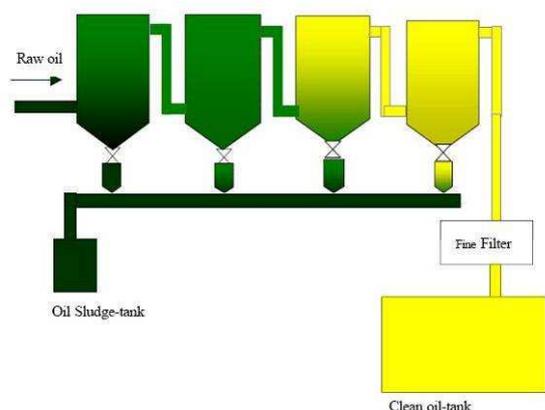
Par ailleurs, il faut privilégier une pression à basse température. Un cisaillement trop important des graines produit une élévation de température de l'huile. Ce point est important, car une température élevée favorise la libération dans l'huile des phospholipides contenus dans les parois cellulaires des graines. **Ces derniers sont des facteurs d'encrassement lors d'une utilisation dans des moteurs ou des brûleurs. Précisons que l'apparition de phospholipides en quantités indésirables est surtout liée au pressage du colza. Ce n'est généralement pas le cas pour les graines de tournesol qui, en revanche, génèrent des cires tout aussi indésirables.** Il n'y a pas de cires non plus dans les huiles de palme ou de babassu et leur contenu en phospholipides est généralement faible.

Pour améliorer la qualité des huiles végétales, on procède à une série de traitement. Pour les huiles naturelles carburant, les traitements sont simples mais les huiles doivent respecter les exigences citées ci-dessous:

- Elles doivent contenir peu de matières insolubles. Moins de 500 ppm après une filtration à 10 microns.
- Elles ne doivent pas contenir plus de 50 ppm de phosphore (révélateur des phospholipides. On mesure leur taux par le dosage du phosphore).
- Elles ne doivent pas contenir plus de 500 ppm de cires.

Pour répondre à ces différents critères et à la normalisation des huiles végétales carburants on effectue une décantation puis une filtration afin d'éliminer les impuretés et de diminuer la teneur en phospholipides et en cire.

Décantation et filtration.



Le procédé de décantation est simple. Il consiste à mettre en série des cuves et à introduire l'huile d'après pressage. Les matières les plus lourdes sont entraînées au fond des cuves. Le trop plein passe dans la cuve suivante et ainsi de suite jusqu'à clarifier suffisamment l'huile.

La figure ci-joint, nous montre un des procédés de décantation. Il a la particularité d'avoir des vannes afin d'éliminer les matières en fond de cuve. Les simples cuves en cascade sont efficaces mais elles ont l'inconvénient de devoir être nettoyées régulièrement.

Pour utiliser l'huile dans un moteur ou comme combustible en chaudière, il est nécessaire de nettoyer l'huile par filtration. Celle-ci s'effectue soit directement en sortie de presse, soit après des phases de décantation. Il est préférable de l'effectuer après décantation afin de minimiser le temps de filtration et les problèmes rencontrés lors de la filtration d'une huile chargée en impuretés (obstruction des filtres, usure du matériel de filtration,..).

Dans le cas d'utilisation en chaudière une filtration à 10 μm est généralement suffisante. Mais pour éviter l'encrassement des filtres à gazole des moteurs, il faut une filtration minimum de l'huile de 5 μm , mais on peut affiner jusqu'à une porosité de 1 μm . Plus on utilisera un filtre de fine porosité plus on optimisera la qualité de l'huile ; mais on aura un temps de filtration beaucoup plus long.

Il existe plusieurs systèmes de filtration :

- à cartouche. Les cartouches, qui doivent être changées tous les 6 000 à 8 000 litres, éliminent les particules supérieures à 1 μm . Ces filtres sont interdits pour les usages alimentaires en raison des composés utilisés pour leur fonctionnement mais sont utilisables pour de l'huile carburant.

- à plaque. Des cadres de filtration en coton ou en polypropylène retiennent les impuretés. L'huile est « recirculée » à travers le « gâteau » formé par les impuretés jusqu'à ce qu'on atteigne le degré de filtration souhaité (filtration par accumulation).

Une autre technique consiste à faire passer l'huile sous pression entre les cadres (filtration tangentielle). L'huile ne fait alors qu'un seul passage.

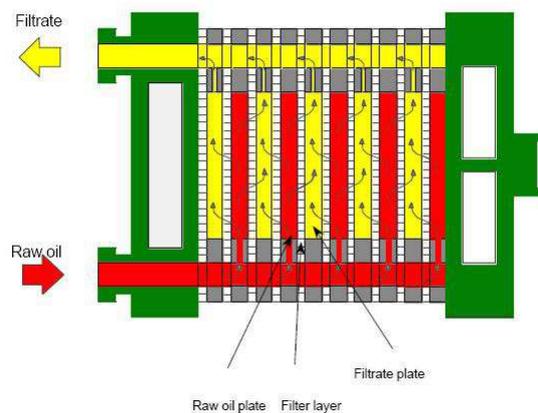
- à membrane. Des poches existent en différentes matières et plus plusieurs grades de filtration (100 à 1 μm). La plupart sont lavables et peuvent être utilisées 3 à 4 fois. Ces poches sont adaptées aux petites productions (<1000 litres/jour) telles que celles des circuits courts.

Pour obtenir une huile carburant filtrée à 1 μm , il est préférable de procéder à deux filtrations successives. La première filtration permet d'éliminer toutes les particules de tailles supérieures à la porosité du filtre choisi (par exemple 50 μm) tout en gardant un débit suffisant.

Ensuite, on effectue une seconde filtration avec le filtre de faible porosité (1 μm) pour éliminer toutes les particules d'une taille supérieure à 1 μm .

L'emploi d'une seule filtration entraîne des colmatages du filtre dont la fréquence est fonction du taux d'impuretés de l'huile à traiter. L'intérêt d'une bonne étape de décantation apparaît ici, même si cette dernière mobilise volumes et espaces dans les ateliers de production.

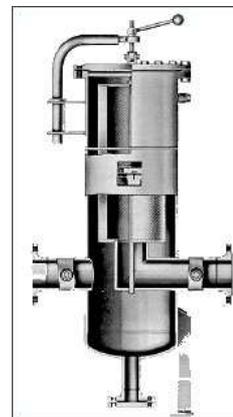
Operation Diagram Plate Filter



Exemple de filtre à plaque
Photo CIRAD



Exemple de Filtre presse
www.presse-filtre-huile.com



Filtre automatique
www.solutions-filtration.com

Stockage et distribution

Afin de minimiser la pollution d'une huile végétale, il est préférable de stocker les graines plutôt que l'huile. Car le stockage de l'huile reste un poste exigeant de qualité et de propreté (citerne propres et réservées à l'huile végétale). La distribution de la citerne aux réservoirs des engins doit également respecter la propreté de l'huile.

Pour favoriser une bonne conservation de l'huile, des précautions de stockage devront être appliquées telles que:

- l'utilisation d'un matériel adapté : cuves insensibles à l'acidité en raison de la présence d'acide gras libre. Les cuves en métal sont à éviter car le cuivre et le fer favorise l'oxydation de l'huile. Sans être en inox, elles peuvent être en polyester par exemple (on évitera les PVC). Elles doivent être hermétiques pour protéger l'huile de la poussière et de l'oxygène de l'air,
- la conservation des cuves à une température constante pour éviter l'oxydation de l'huile, elles doivent être abritées de la lumière et de l'humidité,
- Le nettoyage régulier des cuves.



www.lyonne.com

Au cours de la distribution, il faut éviter de pomper au fond des cuves. Cette précaution est à prendre en considération car une décantation se poursuit lors du stockage donnant ainsi des fonds de cuve de moins bonne qualité. Cette remarque est valable pour tous les carburants.

Conclusions

Produire de l'huile naturelle carburant peut s'envisager en utilisant les outils artisanaux ou industriels existants pour la filière alimentaire. Mais si les exigences de qualité sont moins grandes et moins coûteuses qu'en production alimentaire elles demeurent néanmoins obligatoires. Elles concernent essentiellement la filtration et le stockage. Néanmoins, le respect des teneurs en sédiments est parfois plus contraignant pour les huiles carburant que pour les huiles alimentaires.

10. Les huiles végétales pures carburants

Généralités :

Les substances à partir desquelles sont produites les huiles sont soit des graines ou des amandes soit des fruits. En fait, toutes les graines, tous les fruits et toutes les amandes contiennent de l'huile, mais seuls sont appelés *oléagineux* ceux qui servent à produire industriellement de l'huile et qui sont cultivés dans ce but.

Parmi les graines de plantes cultivées pour leur huile, les plus connues sont : l'arachide, le colza, le ricin, le soja et le tournesol. Il faut y joindre les graines de plantes cultivées pour fournir des fibres textiles - et subsidiairement de l'huile tel que le coton et le lin principalement. Quant aux fruits oléagineux et aux amandes, ils proviennent principalement du cocotier (noix de coco contenant le coprah), du noyer, du palmier à huile (palme et palmiste) et de l'olivier (olives).

Caractéristiques

La composition chimique des huiles végétales correspond dans la plupart des cas à un mélange de 95 % de triglycérides et 5 % d'acides gras libres, de stérols, cires, et autres composants minoritaires. Les triglycérides sont des tri-esters formés par la réaction d'acides gras sur les trois fonctions alcools du glycérol.

Classification :

Les huiles végétales peuvent se diviser en 4 grands groupes, l'indice d'iode servant à les discriminer :

- les huiles dites saturées de type : indices d'iode de 5 à 50
 - lauriques : coprah, palmiste, babassu,...
 - palmitiques : palme, buruti
 - stéariques : karité

- les huiles monoinsaturées (semi-siccatives) : indices d'iode de 50 à 100
 - oléiques : olive, arachide, colza, sésame, jatropha curcas, ricin

- les huiles di-insaturées (semi-siccatives) : indices d'iode de 100 à 150
 - linoléique : tournesol, coton, maïs, soja,....

- Les huiles tri-insaturées (siccatives) : indices d'iode > 150
 - linoléiques : lin
 - éléostariques : huile de bois de chine

L'indice d'iode permet de se rendre compte de l'insaturation d'une huile : il varie entre 0 et 200g/100g. Il correspond au nombre de grammes d'iode fixés par 100g de

corps gras (NF T60-203). Il est donc en rapport direct avec le degré d'insaturation d'un corps gras : plus une huile est insaturée, plus l'indice d'iode est élevé.

Cette mesure consiste à mettre en présence de grande quantité de diiode avec de l'huile (deux atomes d'iodes liés par un atome de chlore et de l'acide acétique, soit I_2 (acide) + Cl (acide)). L' I_2 coupe les doubles liaisons et se fixe à l'acide gras. Ensuite, on détermine combien de diiodes ont été capturés par les doubles liaisons. On peut ainsi en déduire le degré d'insaturation du corps gras analysé.

Globalement, d'un point de vue « qualité » carburant plus l'huile est saturée meilleure elle est. Ou, plus faible est son indice d'iode meilleure elle est. En revanche les huiles saturées présentent des températures de solidification élevées et posent ainsi des problèmes pratiques d'utilisation. Il en est de même pour leurs esters éthyliques ou méthyliques.

Caractéristiques physiques et carburant des principales huiles végétales :

- **Caractéristiques physiques des huiles végétales comparées au Diesel et à l'ester méthylique d'huile de colza**

	Masse volumique (20 °C) g.cm ⁻³	Viscosité (20 °C) mm ² /s	Point d'écoulement °C	Point de trouble °C	Point éclair °C	Pouvoir calorifique MJ/kg
<i>Diesel</i>	0,836	6	-18	-9	93	43.8
<i>Ester méthylique de colza</i>	0,880	7	-12	-4	183	41
<i>Coprah</i>	0,915	30*	23/26	28	230	37.1
<i>Palme</i>	0,945	60*	23/40	31	280	36.9
<i>Buriti</i>	0,912 à 25°C	138,3	-4	-		39,08
<i>Ricin</i>	0,955	850-1100	-10 à -20	-	265	37,20
<i>Babassu</i>	0,946	25,5 à 25°C	22/26	26	234	35,28
<i>Coton</i>	0,921	73	-2	1	243	36.8
<i>Pourghère</i>	0,920	75,7	-3	2	236	38.8
<i>Arachide</i>	0,914	85	-1	9	258	39.3
<i>Colza</i>	0,920	78	-6	-4	285	37.4
<i>Soja</i>	0,920	61	-4	-4	330	37.3
<i>Tournesol</i>	0,925	58	-6	-2	316	37.8

* viscosité cinématique @ 40 °C

- Caractéristiques “carburant” des huiles végétales comparées au Diesel et à l’ester méthylique d’huile de colza

	Masse volumique (20 °C) g.cm ⁻³	Point éclair °C	Résidus de carbone %	Point d’écoulement °C	Indice de cétane	Pouvoir calorifique MJ/kg
<i>Diesel</i>	0,836	93	< 0.01	-18	50	43.8
<i>Ester méthylique de colza</i>	0,880	183	0.02	-12	52	41
<i>Coprah</i>	0,915	230	0,5	23/26	43	37.1
<i>Palme</i>	0,945	280	0.42	23/40	39	36.9
<i>Buriti</i>	0,912 à 25°C		-	-4	-	39,08
<i>Ricin</i>	0,955	265	0,1	-10	-	37,20
<i>Babassu</i>	0,946	234	0,28	22/26	38	35,28
<i>Coton</i>	0,921	243	0.49	-2	34	36.8
<i>Pourghère</i>	0,920	236	1.31	-3	35	38.8
<i>Arachide</i>	0,914	258	0.5	-1	32	39.3
<i>Colza</i>	0,920	285	0.5	-6	32	37.4
<i>Soja</i>	0,920	330	0.54	-4	30	37.3
<i>Tournesol</i>	0,925	316	0.35	-6	32	37.8

Les huiles végétales ont des caractéristiques similaires à celles du fioul. En particulier, un indice de cétane qui indique une aptitude au fonctionnement en cycle Diesel. Plus il est élevé, plus le carburant est apte à l’auto inflammation. Mais, si les valeurs présentées dans les tableaux permettent une classification en terme de qualité des huiles végétales, elles ne sont pas directement comparables à celles du fioul. En effet, l’huile de tournesol qui présente un indice de cétane de 32 se comporte mieux dans un moteur diesel que des fiouls de mêmes indices.

En fait, les spécifications actuelles des carburants pétroliers sont issues d’un passé, d’une histoire de l’industrie pétrolière liée étroitement au développement des moteurs à combustion interne. Les valeurs normalisées ou communément admises sont les fruits de données pratiques et empiriques. Beaucoup de ces spécifications sont des tests “pétroles” qui perdent leur sens comparatif dans certain cas.

- la température de distillation : la norme prévoit que 90 % du produit doit être distillé dans la fourchette 282-338°C. Or il n’y a pas de réelle distillation des huiles végétales mais seulement d’une partie des acides gras, puis décomposition thermique.
- le point de trouble : la norme prévoit 2°C, ce qui exclut l’huile de palme, par exemple, solide à 20°C alors qu’elle est considérée comme un bon biocarburant.

- Notons que les points éclairés élevés des huiles végétales garantissent une meilleure sécurité du stockage

Historique :

L'intérêt des huiles végétales en tant que carburant des moteurs à cycle Diesel n'est pas nouveau. Il semble même étonnant aujourd'hui de constater que dans les années 1920, ingénieurs et chercheurs se soient consacrés à l'étude de carburants végétaux.

En effet, c'était une solution très attractive pour les zones coloniales, riches en oléagineux, qui avaient sur place une source d'énergie renouvelable les rendant indépendantes d'approvisionnements problématiques par leur isolement des métropoles.

Les études alors menées l'étaient aussi dans le souci de valoriser un carburant dont les caractéristiques se rapprochaient le plus des huiles de pétrole, ceci sans aucun préalable de non faisabilité ou d'excentricité de telles solutions.

Citons à ce propos une communication de M Rudolf Diesel (1858-1913) lui-même en 1911

"On ignore généralement que l'on peut employer directement dans les moteurs diesels les huiles animales ou végétales En 1900, la société OTTO avait exposé à l'Exposition Universelle de Paris un petit moteur qui, à la demande du gouvernement français marchait à l'huile d'arachide et fonctionnait tellement bien que très peu de gens s'apercevait du changement. Le moteur était construit pour employer les huiles* ordinaires et fonctionnait à l'huile végétale sans aucune modification. J'ai récemment recommencé ces essais sur une grande échelle avec plein succès et ils ont entièrement confirmé les résultats obtenus précédemment. Le gouvernement français avait en vue l'utilisation des grandes quantités d'arachide dont on dispose dans les colonies africaines et qui sont d'une culture facile. On pouvait ainsi doter les colonies d'usines de production de force motrice et d'établissements industriels, sans qu'il soit nécessaire d'y importer de la houille ou du combustible liquide.

Des essais semblables, couronnés du même succès, ont également été faits à Saint Pétersbourg avec de l'huile de ricin. On a même essayé avec plein succès les huiles animales telle que l'huile de poisson."

* de pétrole

Les exemples de recherches et d'utilisations sont nombreux de 1920 à 1950.

Il y eut des essais isolés mais également des utilisations pratiques et de longue durée au début de la dernière guerre. Notamment dans le port d'Abidjan (Côte d'Ivoire) où le ravitaillement en carburants classiques devenant difficile, la Société de Construction du port utilisa, dans ses moteurs de 50 à 800 chevaux, de l'huile de palme filtrée au filtre - presse à raison de 100 tonnes par mois.

Rappelons aussi que durant la dernière guerre, un convoi de 30 à 40 camions militaires de l'armée française effectuait chaque semaine la liaison Dakar-Alger (3 500 km) Ces camions fonctionnaient à l'huile d'arachide ainsi que tous les autobus de Dakar (Sénégal) à la même époque.



Pick-up Chevrolet à l'huile de d'arachide, Etat Unis

Les essais et recherches, renforcés au cours de la guerre, se poursuivirent jusqu'en 1952 dans tous les laboratoires spécialisés français (Laboratoire de Mécanique physique de St Cyr ; UTAC Union Technique de l'Automobile et du Cycle; etc).

Elles ont connu un regain d'engouement vers 1975, à la suite du premier choc pétrolier. Ainsi lors du second choc de 1978, un certain nombre de chercheurs et d'expérimentateurs avaient "rafraîchi" le sujet et fait ressurgir l'intérêt de cette source renouvelable. De très nombreux pays se sont alors lancés dans les recherches.



Moteur fonctionnant à l'huile de Pourghère, Bamako Mali nov. 1994
www.peracod.net



Moteur à l'huile de palme. Photo CIRAD



Brûleur fonctionnant à huile de colza, de tournesol, de palme, de coprah (pulpe séchée de la noix de coco) ou bien encore de pourghère. Photo CIRAD

Outre les universités, les constructeurs de machines agricoles étudièrent la possibilité d'utiliser les huiles végétales comme substitut du fuel ou du gazole (JOHN DEERE, CATERPILLAR, INTERNATIONAL HARVESTER, VOLKSWAGEN, FIAT, MERCEDES,...) beaucoup d'essais furent réalisés jusqu'en 1984.

10.1 Utilisation des huiles végétales pures dans les moteurs diesels.

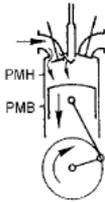
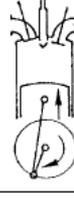
Introduction : fonctionnement des moteurs Diesel.

Dans un moteur diesel, la combustion se déclenche par auto-inflammation : le combustible finement nébulisé par un injecteur est introduit dans une masse d'air suffisamment comprimée pour que sa température atteigne la valeur à laquelle le mélange s'enflamme.

L'énergie dégagée par la combustion engendre alors un mouvement rectiligne du piston transformé en mouvement rotatif en sortie de vilebrequin par l'intermédiaire du système bielle-manivelle.

Cycle Diesel à Quatre temps

Les moteurs diesels fonctionnent selon le principe du cycle à quatre temps qui comprend les phases suivantes : admission, compression, inflammation-détente et échappement.

Course du piston	Phases	Opérations	Schéma
Premier temps du P.M.H. au P.M.B.	Admission	Remplissage des cylindres avec de l'air à pression atmosphérique ou précomprimé.	
Deuxième temps du P.M.B. au P.M.H.	Compression	l'air est fortement comprimé et porté à une température supérieure à celle d'auto-inflammation du carburant (+ de 400 °C). Le rapport volumétrique est très élevé (15/1 à 22/1).	
Troisième temps du P.M.H. au P.M.B.	Inflammation - détente	le carburant est injecté sous pression (100 à 200 bars) en fin de compression. Il s'enflamme spontanément au contact de l'air échauffé. La combustion dure tant que dure l'injection	
Quatrième temps du P.M.B. au P.M.H.	Echappement	évacuation des gaz brûlés	

Chaque cycle correspond à deux tours de vilebrequin. On exprime généralement le temps au cours d'un cycle en degrés angulaires de rotation du vilebrequin (°V). Ainsi, au régime de 3000 tr/mn par exemple, 1 °V représente 0.056 ms ; un cycle, soit 2 tours de moteur, s'effectue en 40 ms.

Délai d'inflammation : le carburant injecté doit s'auto enflammer sous l'effet de l'élévation de température résultant de la forte compression de l'air. En fait, il s'écoule un certain temps entre le début de l'injection et le début de la combustion. Cet intervalle de temps s'appelle le délai d'inflammation.

Les moteurs à injection directe et les moteurs à injection indirecte.

Globalement, il existe deux familles de moteurs à cycle Diesel : **les moteurs à injection direct et les moteur à injection indirecte** (voir figures suivantes).

*** les moteurs à injection directe.** Ils équipent les tracteurs agricoles et routiers, et grand nombre de moteurs industriels de toute puissance : de 0,5kW jusqu'au mégawatt. Sans modifications, ceux-ci n'acceptent pas les huiles végétales naturelles.

Alimentés avec des huiles végétales non estérifiées ils connaissent rapidement des problèmes de fonctionnement. Ces problèmes sont la formation de dépôts carbonneux à l'intérieur du moteur (voir photos suivantes) et une forte *dispersion cyclique*¹² pouvant conduire à des dégâts mécaniques parfois importants.



Piston injection directe au fioul. Photo CIRAD



Piston injection directe : 21 heures huile végétale Photo CIRAD

L'utilisation de mélanges significatifs d'huile végétale et de fioul (contenant plus de 10 % d'huile) ne résout pas les problèmes. L'encrassement existera toujours, seul le temps de formation est fonction du taux d'huile végétale.

¹² Certains cycles connaissent des « ratées » d'allumage. Jusqu'à 1 cycle tous les 50, c'est inaudible sur un moteur 4 cylindres

* *les moteurs à injection indirecte*. Ils désignent les moteurs à préchambre, à chambre de turbulence, à chambre à réserve d'air, etc. Ce sont des moteurs à chambre de combustion « divisée ».

Ils équipent les véhicules automobiles, certains très gros moteurs industriels (supérieur au Mégawatt), l'ensemble des engins devant polluer le moins possible leur environnement. Enfin, une gamme encore bien fournie de petits moteurs industriels.

Ces derniers tolèrent les huiles végétales brutes (mais filtrées efficacement). Un fonctionnement correct est même à signaler avec les moteurs à chambre de turbulence (répandue en automobiles Diesel).

Mais les tendances des 20 dernières années les ont rendus minoritaires face aux injections directes moins "gourmands" en carburant.

L'huile végétale naturelle dans des tracteurs non modifiés : réalité ou mythe ?

Les huiles végétales brutes ou raffinées ne sont pas utilisables en l'état dans des moteurs diesels à injection directe. Ces derniers équipent les tracteurs agricoles depuis plus de 25 ans, or on entend dire que nombre d'utilisateurs emploient depuis longtemps, dans la plus grande discrétion, des huiles de colza ou de tournesol dans leurs propres tracteurs n'ayant subi aucune modification. Qu'en est-il de ces informations ?

Faute de pouvoir accéder à des témoignages vérifiables, rappelons les raisons qui obligent à modifier les moteurs à injection directe.

Lorsqu'ils délivrent jusqu'à la moitié de leur puissance nominale, ces moteurs présentent des températures moyennes de chambre inférieures à 200°C. Or, l'huile de tournesol possède une température de point éclair largement supérieure à celle du fioul : 316°C pour l'huile contre 96°C pour le fioul. Ce qui signifie qu'une part de gouttelettes d'huile ne va pas se vaporiser mais va se « coller » aux parois provoquant des dépôts « goudronneux » semblables à ceux bien connus des friteuses de cuisine. Ces dépôts vont vite s'accumuler sur le nez des injecteurs perturbant ainsi la pulvérisation et dégradant le fonctionnement. Ils vont également se loger dans la gorge du premier segment lui interdisant son élasticité ce qui mène à des grippages et/ou une usure rapide de celui-ci. Il y a perte de compression, difficultés de démarrage à froid et détérioration du rendement (augmentation anormale de la consommation). Si alors la dilution d'huile végétale dans le lubrifiant dépasse 3% il peut y avoir une rapide polymérisation de l'huile de graissage provoquant le grippage total du moteur.

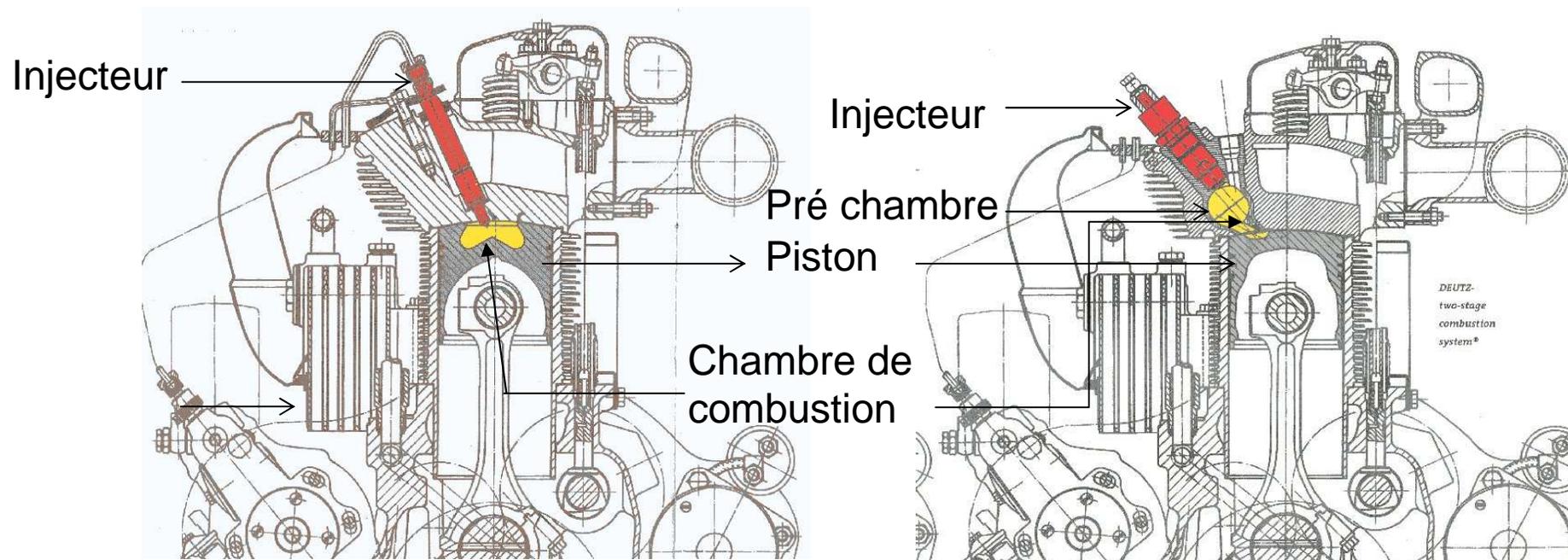
Dans les moteurs diesels à injection indirecte de type « chambre de turbulence », la température moyenne de la *pré-chambre** est d'environ 500 à 600°C dès 10 % de puissance délivrée. Les huiles végétales brûlent complètement.

Enfin, et c'est ce dernier point qui peut faire douter de la véracité des témoignages, les pompe à injection rotatives (Lucas CAV rotodiesel et Stanadyne) qui équipent un très grand nombre de tracteurs agricoles, cassent par temps froid quand le pourcentage d'huile dépasse 35%. Voilà qui aurait dû engendrer une toute autre réputation à l'huile naturelle avant de décourager les plus fanatiques compte tenu des coûts élevés des pompes à injection en pièce détachée.

*: ici il s'agit de chambre « divisée ».

Moteur à injection direct (DI)

Moteur à injection indirect (IDI)

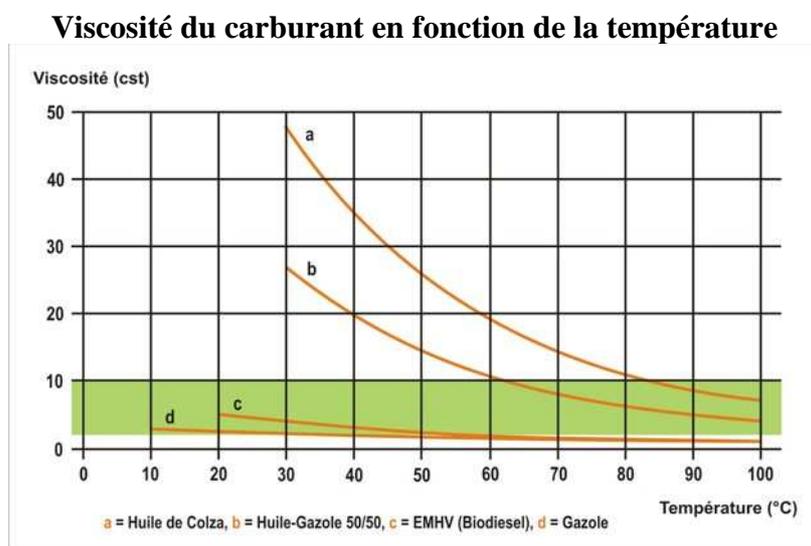


Problèmes rencontrés lors de l'utilisation de l'huile végétale pure carburant

Parmi les caractéristiques physico-chimiques particulières des huiles végétales, deux d'entre elles influencent directement le bon fonctionnement des moteurs diesels : la viscosité élevée qui pose des problèmes d'ordre pratique et la composition chimique en acides gras qui entraîne une chaleur élevée d'évaporation et ne permet pas une distillation complète des huiles végétales.

a. La viscosité

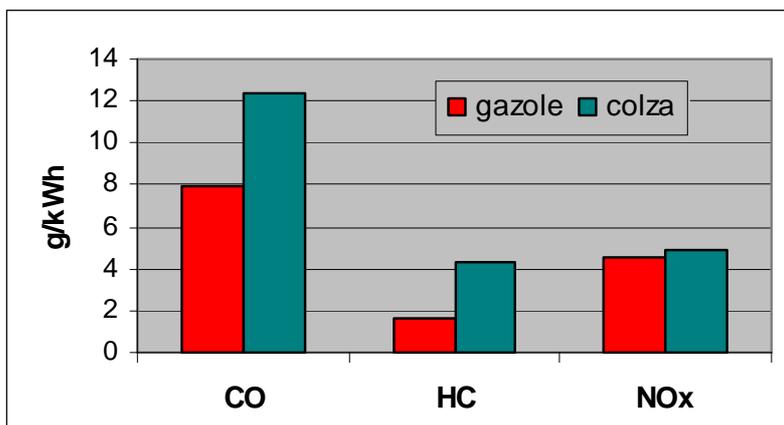
La viscosité des huiles est significativement plus élevée que la viscosité des gazoles à température ambiante ce qui pose des problèmes de pompage et d'écoulement à travers les tuyaux et les filtres. Mais également une détérioration des caractéristiques du jet injecté dans la chambre du moteur. Dans le schéma ci-dessous, la zone verte figure la zone de viscosité normalisée pour les équipements diesels. Il est à noter qu'à partir de 83°C l'huile de colza (courbe a) respecte les exigences techniques établies. Un constat similaire peut être fait pour les autres huiles (sauf le ricin qui nécessite plus de 150°C). Les températures de réchauffage à atteindre sont fonction de la viscosité de l'huile ou du mélange fioul/huile en présence. Par exemple, le mélange 50 % fioul et 50 % colza (courbe b) ne devra être réchauffé qu'à 62 °C « seulement ».



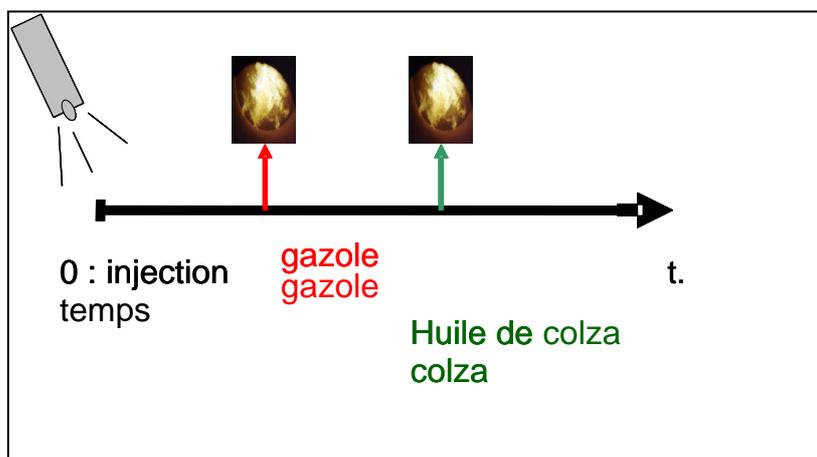
L'ajout d'un réchauffeur et d'une pompe dans le circuit d'alimentation permettra d'éliminer le problème des viscosités des huiles végétales.

b. Influences de la composition chimiques des huiles

Pour des températures de chambre inférieures à 500°C



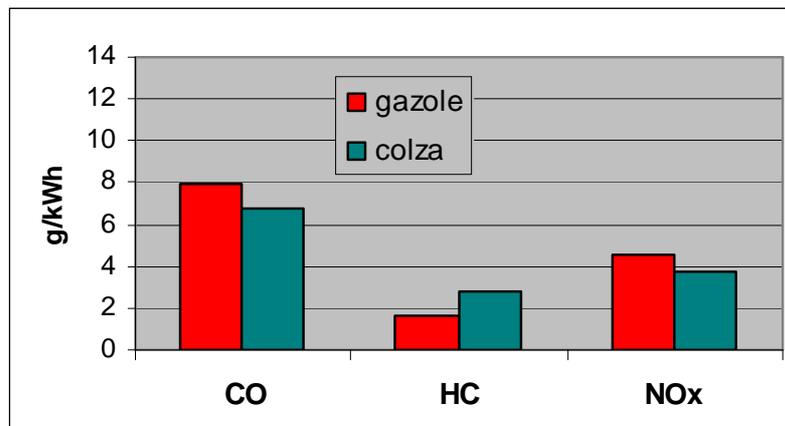
Gaz rejeté avec une température inférieure à 500°C.
Schéma CIRAD



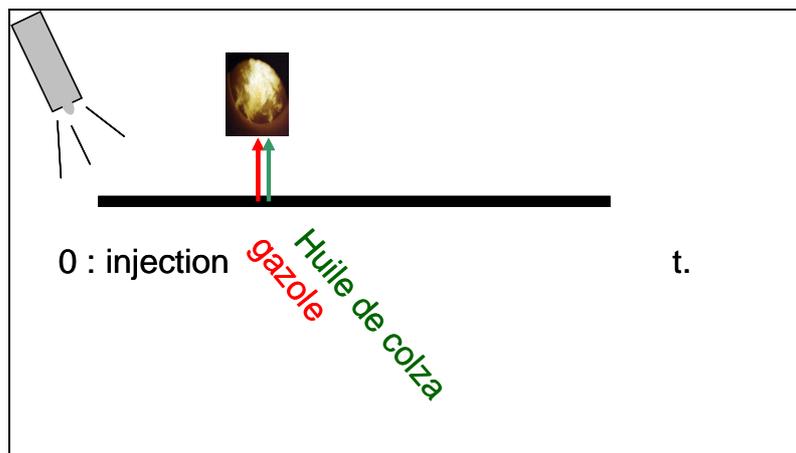
Délag d'inflammation en fonction du carburant.
Schéma CIRAD

Le délai d'inflammation est plus long pour une majorité des huiles quand la température de la chambre de combustion est inférieure à 500°C (voir figures suivantes). Par ailleurs, la combustion de l'huile, même réchauffée, purifiée et raffinée, ne s'effectue pas complètement ce qui entraîne des pertes de puissance et de rendement et des rejets en CO, NOx et HC plus importants pour les huiles que pour le gazole. De plus, au niveau mécanique, il se produit dégradation et un encrassement des nez d'injecteurs, des segments et des cylindres conduisant à des détériorations mécaniques.

Pour des températures de chambre supérieures à 500°C



*Gaz rejeté avec une température supérieure à 500°C.
Schéma CIRAD*



*Délai d'inflammation en fonction du carburant.
Schéma CIRAD*

Pour des températures de chambre supérieures à 500°C, il est constaté une nette amélioration de comportement de l'huile. Le délai d'inflammation est quasi-identique à celui du gazole et, la combustion étant complète, les rejets observés peuvent être moins importants que ceux du gazole.

Globalement, le fonctionnement est correct et très peu différent du fonctionnement au gazole avec des performances équivalentes et des rendements globaux parfois meilleurs que ceux du gazole.

c. En conclusion :

- Il est possible de résoudre les difficultés d'usage pratiques des huiles végétales en les réchauffant afin de ramener leur viscosité dans des valeurs proches de celles des produits pétroliers.
- Une fois la viscosité de l'huile ou du mélange ramenée dans les valeurs acceptées par les équipements d'alimentation des moteurs, il demeure les problèmes de combustion incomplète dus à la nature chimique différente des huiles vis-à-vis des fiouls et gazoles.
- Il apparaît que si la température moyenne de la chambre de combustion est suffisamment élevée, les huiles végétales courantes brûlent complètement avec de bons rendements globaux et des niveaux d'émissions polluantes similaires à celles des gazoles.
- Il y a plusieurs façons de s'assurer d'un niveau de température suffisant des chambres de combustion (voir paragraphes suivants) :
 - par modifications mécaniques des pistons et de pièces internes au moteur,
 - sans modifications mécaniques en utilisant un fonctionnement en bicarburation.

Modifications des chambres de combustion des moteurs à injection directe:

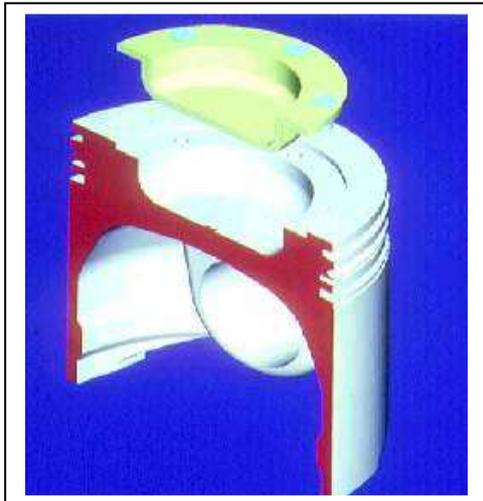
Si l'on ne veut pas modifier le carburant (estérification par exemple), on peut agir sur les chambres de combustion afin que les conditions de températures lors du fonctionnement permettent une combustion complète des huiles végétales.

Mais ces modifications doivent respecter la conception et l'architecture interne du moteur tout en respectant les matériaux et les jeux fonctionnels mécaniques. Il faut alors que les températures maximales atteintes restent raisonnables.

Ce type de modifications, développées au CIRAD depuis 1990, permet toujours l'usage du fioul (et donc de tout mélange d'huile et de fioul) sans pertes de puissance et sans interventions mécaniques supplémentaires. Cet aspect est important et représente un des avantages forts de cette solution. A tout moment les utilisateurs peuvent remplir le réservoir indifféremment avec de l'huile ou du fioul.

Description des modifications des pistons :

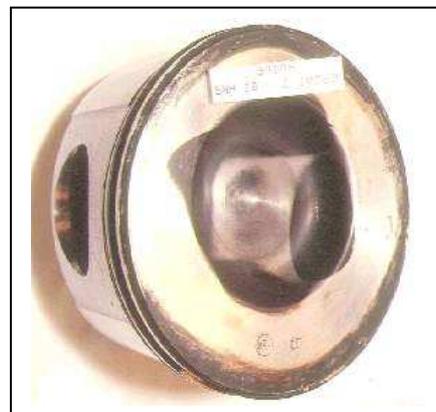
Ils sont modifiés pour recevoir une chambre de forme spéciale en acier réfractaire.



Exemple de réalisation.
Photo CIRAD

Conception CAO des modifications.
Photo CIRAD

On constate qu'après 500 heures de fonctionnement à l'huile de colza, le piston est intact. L'huile a la qualité d'être lubrifiante, cette caractéristique permet d'allonger la longévité des pièces du moteur.



Piston modifié après 500 heures à huile de colza
Photo CIRAD

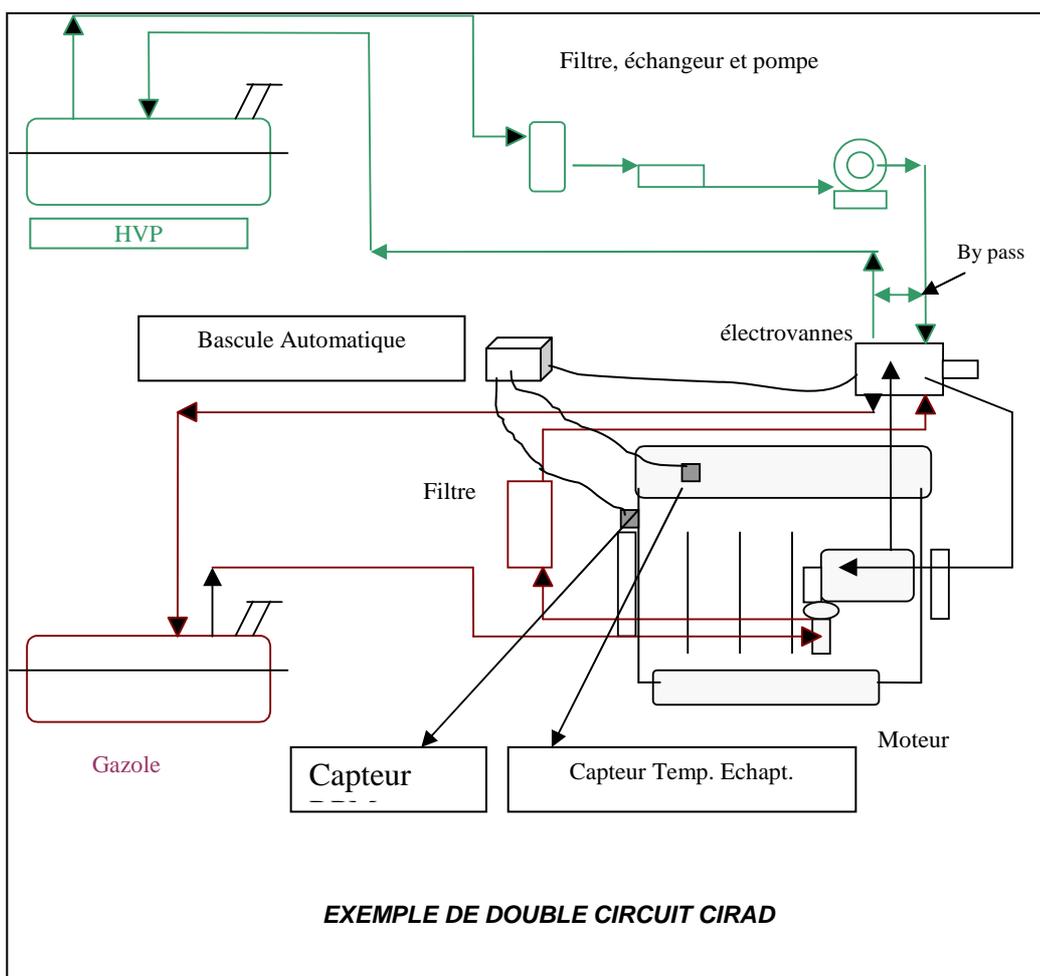
Adaptation type « bicarburation » sur les moteurs à injection directe:

Une autre voie permet de ne pas faire de modifications internes des moteurs, c'est l'adoption d'un circuit d'alimentation en bicarburation. Ce procédé a été mis en place et appliqué par le CIRAD sur des tracteurs, des camions et des groupes électrogènes.

Il consiste à installer un second circuit d'alimentation pour l'huile végétale pure en parallèle à celui du gazole. Sur ce circuit, on trouve en série :

- un filtre à carburant adapter à l'huile végétale,
- un réchauffeur, pour réduire la viscosité de l'huile et se rapprocher de celle du gazole
- une pompe de circulation et de gavage de la pompe à injection,
- une électrovanne qui permet de basculer d'un carburant à un autre ; c'est-à-dire permettant au véhicule de fonctionner soit au gazole soit à l'HVP.

• Schéma des modifications du circuit d'alimentation :



- **Contrôle des conditions de bascule gazole/huile végétale**

Le principe de la bicarburation est simple : tant que les chambres de combustion n'ont pas les niveaux de température suffisants pour une bonne combustion de l'huile végétale, le moteur reste alimenter en gazole.

Dès que la température des chambres est suffisante le système de bascule pilote l'électrovanne qui alimente alors le moteur grâce au circuit huile végétale.

Le pilotage du système de bascule peut s'effectuer en contrôlant ces deux paramètres:

- la température d'échappement,
- la vitesse de rotation du moteur

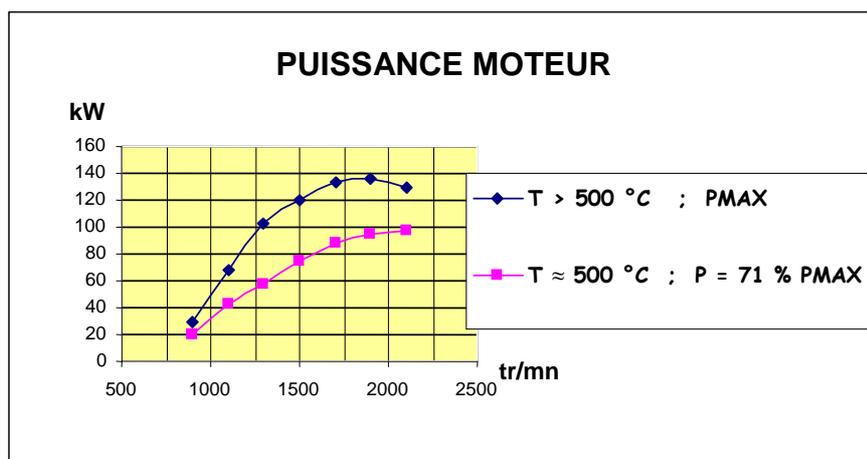
La température de l'échappement

La température des gaz d'échappement est proportionnelle à la température moyenne des chambres de combustion. On peut la mesurer en plaçant une sonde au niveau de la sortie des chapelles d'échappement dans le flux gazeux.

La vitesse de rotation du moteur

On peut la mesurer grâce à des capteurs de rotation qui seront connectés au système de bascule automatique. Il est à noter que pour des applications à vitesse constante (groupes électrogènes, certains groupes de pompage,...) ce capteur est inutile. La valeur de la vitesse est directement programmée comme constante dans le système de bascule.

- **Importance de la charge¹³ du moteur sur la bascule gazole/huile végétale.**



Enveloppe de pleine charge et courbe à charge partielle sur un moteur à injection directe. Graphique CIRAD

¹³ Pourcentage de la puissance d'un moteur pour une vitesse de rotation donnée.

Le graphique ci-dessus présente les courbes de puissances mesurées sur un moteur diesel à injection directe.

- La courbe supérieure relie les points de puissance maximale pour différentes vitesses de rotation du moteur, elle est appelée « courbe enveloppe à pleine charge ».
- La courbe inférieure relie les points de puissances intermédiaires pour différentes vitesses de rotation, elle est appelée « courbe de puissances à charge partielle ». Il est possible de tracer de nombreuses « courbes à charges partielles » qui s'intercaleront entre puissance « nulle » et « l'enveloppe à pleine charge ». Mais celle-ci est particulière : elle relie des points de puissance à différentes vitesses où la température d'échappement en sortie de culasse est d'environ 500°C. Pour chaque vitesse de rotation, tout point en dessous de cette courbe affichera une température d'échappement inférieure à 500°C car la quantité de carburant brûlée sera insuffisante pour l'atteindre.
- Par contre, tout point compris entre les deux courbes correspondra à des températures supérieures à 500°C où il sera donc possible d'injecter de l'huile végétale sans souci de combustion.

Dans l'exemple ci-dessus la puissance à 1800 tours par minutes représente 71 % de la puissance maximale à cette même vitesse de rotation, ou autrement dit : à 71 % de charge. Ce qui signifie que le moteur ne fonctionnera à l'huile végétale que lorsque la puissance demandée au moteur dépassera 71 % du maximal de puissance à cette vitesse de rotation (à 1500 tr/mn, c'est à 65 % de la puissance maximale que le passage à l'huile s'effectuera).

Conclusion

L'utilisation des huiles végétales carburants nécessite parfois des modifications importantes sur les moteurs et les circuits d'alimentation.

La modification des moteurs à injection directe rend possible l'utilisation d'huiles végétales pure en substitution des fiouls. Il est aussi possible d'adapter des systèmes de bicarburant permettant l'utilisation d'une part significative d'huile végétale sans avoir à modifier les parties internes des moteurs. Il faut rappeler que le bon fonctionnement du moteur dépend également de la qualité du carburant.



***Tracteurs avec moteur à injection direct modifié. Huile de tournesol, France, 2001
Photo CIRAD***



Tracteur Deutz à injection indirecte. Huile de colza, France, 1998 Photo CIRAD

Performances et pollution comparées entre huile végétale et fioul dans les moteurs diesels modifiés

La quasi-totalité des tracteurs agricoles et des moteurs à poste fixe sont à injection directe. Il conviendra donc de les modifier pour qu'ils puissent utiliser de l'huile végétale naturelle comme biocarburant en circuit court d'autoconsommation.

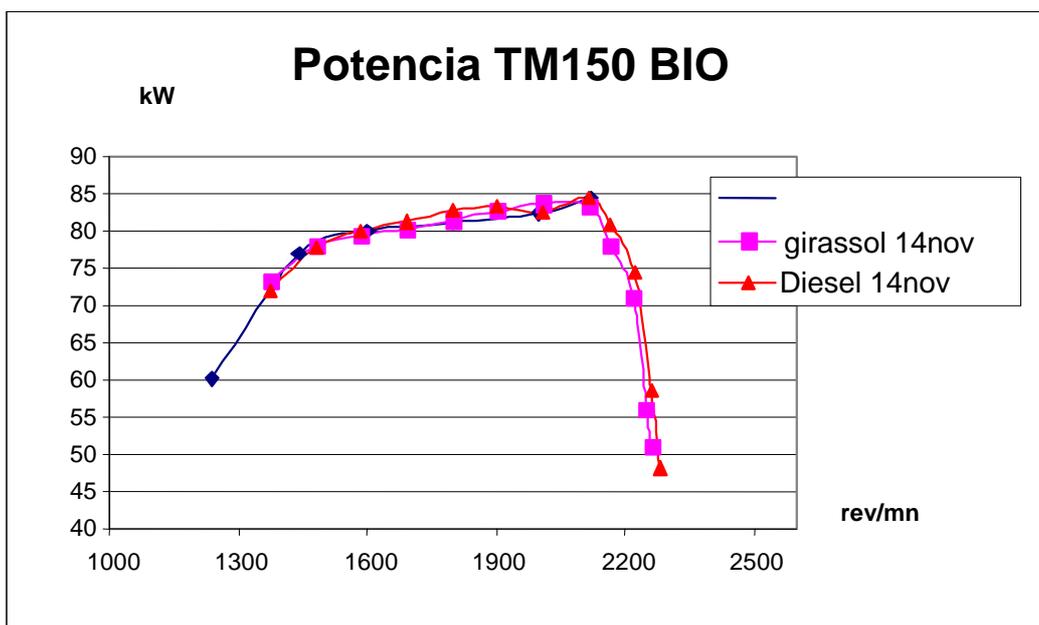
L'impact de ces modifications sur les performances et la pollution des gaz d'échappement pourra être vérifié au Brésil, mais il devrait être très semblable aux résultats ci-dessous obtenus avec de l'huile de tournesol, issue d'un circuit court d'autoconsommation, et deux tracteurs New Holland et John Deere modifiés et équipés (voir chapitre 3.4).

Par ailleurs, la longévité des moteurs est augmentée quand ils utilisent de l'huile végétale comme carburant et l'entretien est le même qu'au fioul. Ceci a été vérifié par plusieurs cotations effectuées selon la procédure CEC M-02-A-78 à la demande du Cirad.

Performances comparées.

Les puissances obtenues sont très proches. A puissance égale on observe une augmentation de la consommation horaire de 5 % en volume. Ceci est directement dû au plus faible pouvoir calorifique de l'huile de tournesol. Les rendements des moteurs sont améliorés avec le tournesol comme le montrent les résultats complets de l'annexe 9.

Puissance comparée entre fioul et huile de tournesol Tracteur New Holland TM150.



Pollution comparée

Deux tracteurs modifiés et deux tracteurs non-modifiés sont comparés. Les résultats (voir annexe 10) des deux tracteurs modifiés montrent une très bonne comparaison avec le fioul sur les produits toxiques CO, HC et NOx. Les tracteurs respectent les limites de polluants imposées par les normes européennes d'homologation définies par les directives de l'ISO 8178 et les facteurs de pondération du cycle C1.

Par ailleurs, le CO₂ rejeté par les deux tracteurs au tournesol ne participe pas à l'accroissement des gaz à effet de serre dans l'atmosphère car celui-ci sera remobilisé par la croissance de la plante lors du cycle cultural suivant.

Emissions au couple maximal au régime correspondant

Résultats pour le tracteur New Holland TM 150

<i>Tracteur N°</i>	TM150 orig. fioul	TM150 BIO tournesol
<i>N tr/mn</i>	1350	1456
<i>Puissance. kW</i>	81.4	75.4
<i>Puissance ch</i>	110.6	102.4
<i>Consommation en carburant l/h</i>	23.4	24.0
<i>Température air admis °C</i>	21	22
<i>Température échappement °C</i>	383	435
<i>CO ppm</i>	1218	960
<i>CO2 %</i>	8.6	8.0
<i>HC ppm</i>	53	82
<i>O2 %</i>	9.1	10.0
<i>NOx ppm</i>	1530	1450
<i>Excès air</i>	0.79	0.93

Emissions au couple maximal au régime correspondant

Résultats pour le tracteur John Deere 7710

<i>Tracteur N°</i>	<i>JD 7710 orig. fioul</i>	<i>JD 7710 BIO tournesol</i>
<i>N tr/mn</i>	1304	1302
<i>Puissance. kW</i>	110.2	102.2
<i>Puissance ch</i>	149.7	138.9
<i>Consommation en carburant l/h</i>	27.8	25.9
<i>Température air admis °C</i>	20	22
<i>Température échappement °C</i>	608	609
<i>CO ppm</i>	2143	692
<i>CO2 %</i>	10.1	9.7
<i>HC ppm</i>	53	59
<i>O2 %</i>	7.3	7.8
<i>NOx ppm</i>	1246	1324
<i>Excès air</i>	0.54	0.59

Les résultats complets sont donnés en annexe 7.

Conclusions

- Les huiles végétales naturelles sont utilisables dans les moteurs diesels à injection indirecte sans modifications de ces derniers.
- Par contre les moteurs diesels à injection directe doivent être modifiés pour pouvoir utiliser les huiles végétales naturelles (palme, coco, colza, tournesol,...). Cependant ces modifications n'empêchent pas l'usage du fioul. Les réservoirs des engins peuvent donc accepter de l'huile végétale, du fioul et tout mélange de ceux-ci.
- Les performances sont identiques et la pollution à l'échappement est en faveur des huiles végétales.
- Enfin la longévité des moteurs est accrue quand ils utilisent les huiles végétales naturelles.

10.2 Utilisation des huiles végétales pures dans les brûleurs.

. Utilisation des HVP dans les brûleurs en résumé :

Les caractéristiques énergétiques des huiles végétales sont suffisamment proches de celles du fioul pour que l'on puisse s'attendre à une substitution aisée dans un brûleur

	Gazole	Huile de colza	Huile de tournesol
Densité (kg/dm ³) 20°	0.836	0.916	0.920
Pouvoir Calorifique Inférieur (kJ/kg)	43800	37850	38100
Indice de Cétane	50	37	37
Composition chimique (% masse)			
C	85.1	76.8	76.9
H	14.9	11.8	11.7
O	-	11.4	11.4
Formule globale	C ₂₁ H ₄₄	C _{17.94} H _{33.18} O ₂	C _{17.92} H _{32.52} O ₂

Caractéristiques physico-chimiques utiles à la prédiction des performances globales

Le problème de la nature physico-chimique différente des HVP vis à vis du fioul se retrouve pour les applications brûleurs : mauvaise combustion avec les réglages fioul et encrassement des parties "froides" des chaudières. Il est donc nécessaire de les adapter et/ou de les modifier.

Les brûleurs pour fioul "lourd" se prêtent mieux à l'usage des HVP (après quelques réglages et adaptations quand même). Mais on ne les trouve généralement que dans des puissances allant de 300 kW à 1000 kW.

Des études et des mises en œuvre en conditions réelles de brûleurs de moyenne puissance (de 150 à 400 kW) modifiés pour les HVP ont eu lieu avec Cirad il y a dix ans. Les résultats très positifs ont montré qu'il est possible de les utiliser jusqu'à 100 % d'HVP. Aujourd'hui, quelques constructeurs commencent à s'engager sur ce créneau de puissance.

En matière de petits brûleurs (< 50 kW), les offres sont nombreuses mais pas toujours fiables. Seuls quelques modèles ont faits leur preuve mais dans des puissances de 50 kW et plus. Dans la gamme 20 à 30 kW, ce qui correspond aux installations domestiques individuelles, il y a très peu d'offres sérieuses.

Principe de fonctionnement des brûleurs modernes :

Un jet pulvérisé de carburant est assuré grâce à une pompe volumétrique mécanique, il est accompagné d'un flux d'air de combustion contrôlé respectant la quantité d'air nécessaire à la combustion complète de la quantité de carburant augmenté d'un excès d'air prédéterminé (3 à 5 % d'oxygène supplémentaire).

	Gazole ou FOD	Huile de colza	Huile de tournesol
Pco pouvoir comburivore g.air/g.carb.	14.84	12.35	12.30

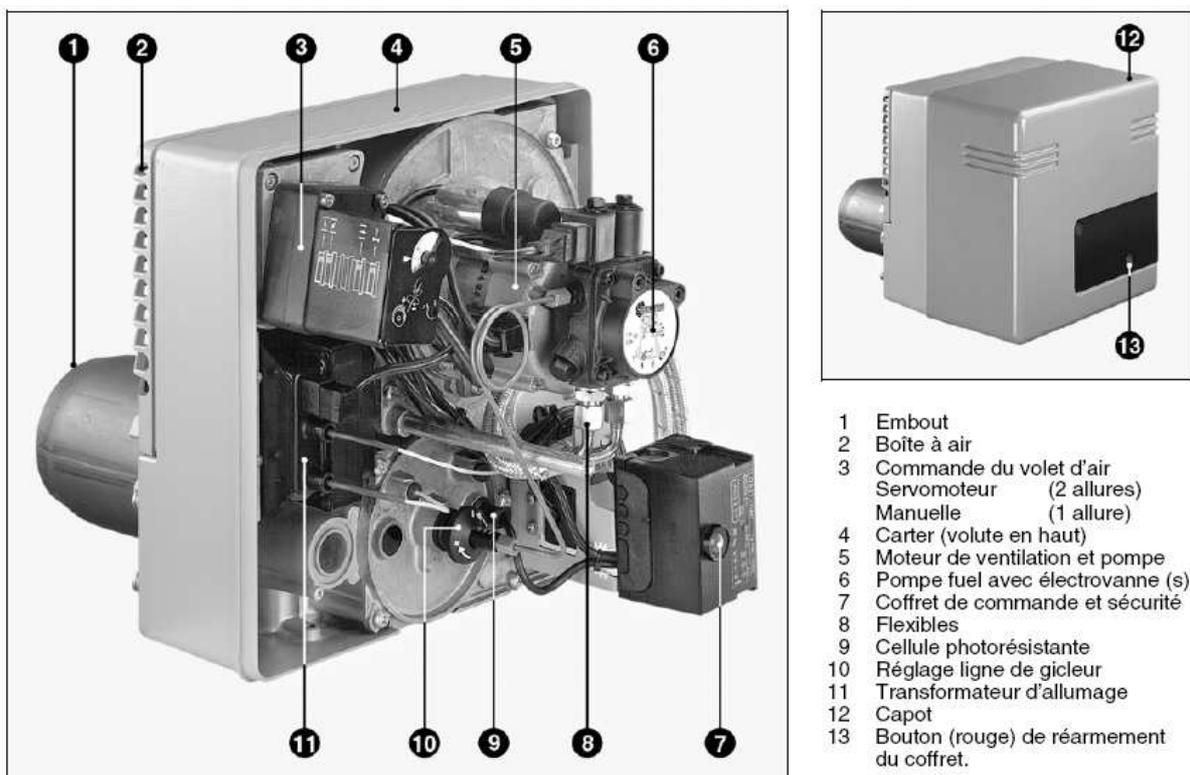
Pouvoirs comburivores comparés (sans excès d'air).

Le jet est assuré par un gicleur choisi pour son débit à une pression déterminée et en fonction de la géométrie de la chambre de combustion.

Généralement, un moteur électrique entraîne la pompe de pression et le ventilateur d'air de combustion.

Un système de contrôle/commande assure le fonctionnement et les mises en sécurité du brûleur.

La plupart des brûleurs, en particulier les petits brûleurs domestiques, utilisent les mêmes organes (pompes, ventilateurs, boîtiers de contrôle) provenant de quelques équipementiers.



- 1 Embout
- 2 Boîte à air
- 3 Commande du volet d'air
Servomoteur (2 allures)
Manuelle (1 allure)
- 4 Carter (volute en haut)
- 5 Moteur de ventilation et pompe
- 6 Pompe fuel avec électrovanne (s)
- 7 Coffret de commande et sécurité
- 8 Flexibles
- 9 Cellule photorésistante
- 10 Réglage ligne de gicleur
- 11 Transformateur d'allumage
- 12 Capot
- 13 Bouton (rouge) de réarmement du coffret.

2

0002 / 13 003 431B

Document Cuenod

Adaptations des brûleurs pour utiliser des HVP :

La viscosité des huiles végétales a une forte influence sur les équipements des brûleurs. Ceci a pour conséquence la nécessité de régler spécialement ces derniers voire de changer certains éléments tels que les gicleurs. Mais, quelle que soit la taille du brûleur, il reste à vérifier, une fois les exigences technologiques remplies, si la combustion des huiles végétales est complète et quelles sont les performances globales et la pollution émise, comparées au fonctionnement gasoil.

Huile de colza et brûleurs : problèmes rencontrés et modifications à effectuer :

- Si l'on ne réchauffe pas le mélange combustible, l'allumage ne se produit pas dès une incorporation de 25 à 30 % d'huile de colza.
- Les mélanges jusqu'à 50/50 sont utilisables s'ils sont réchauffés à au moins 70 °C et homogénéisés et si la pression de pulvérisation en sortie de pompe est remontée de 10-11 à 15-16 bars.
- Pour des mélanges de 50 à 75 % d'huile de colza il est nécessaire de réchauffer le combustible à au moins 100°C. La pression de pulvérisation en sortie de pompe doit être remontée à 18-20 bars.
- Pour des taux supérieurs à 75 % et jusqu'à 90 % d'huile, il est possible d'obtenir un fonctionnement correct avec une température de mélange de 120°C et une pression de pulvérisation de 20 bars.
- A 100 % d'huile, la température doit être de 140°C et la pression de pulvérisation en sortie de pompe de 25 à 30 bars, sinon il n'y a pas allumage de la flamme.

Il apparaît généralement qu'après la seule intervention en réglages (140 °C pour l'huile et 30 bars de pression), les premiers essais à 100 % montrent :

- un démarrage totalement fiabilisé,

- des teneurs en polluants des fumées bien en dessous des normes admises en Europe.

Avec cependant :

- un encrassement rapide du foyer,
- un « gouttage » de la tête de combustion.

Il faut alors :

- redéfinir un modèle de gicleur mieux adapté,
- re-concevoir le déflecteur d'air,
- redéfinir les réglages d'admission d'air.

Les problèmes d'encrassement :

Sur la plupart des modèles de brûleurs, le déflecteur d'air (partie froide car ventilée en permanence) s'encrasse. La conséquence est que le détecteur de flamme (cellule photoélectrique) fini par ne plus « voir » assez de lumière et arrête le fonctionnement du brûleur par sécurité d'absence de flamme. Pour exemple, ces arrêts se produisaient tous les 4 à 5 jours avec un mélange 50/50 colza/fioul (voir photos suivantes).



Déflecteur d'air après 4 jours à 50/50, tournesol/fioul (à droite : après nettoyage) photo Cirad

Par ailleurs, si trop de gouttelettes échappent à la combustion on va les retrouver sous forme de produits partiellement polymérisés sur les parois les plus « froides » des échangeurs de chaleur (les tubes de fumées par exemple) ce qui va rapidement diminuer leur capacité de d'échange. On retrouve ici les problèmes rencontrés dans les chambres des moteurs diesels quand ils sont utilisés à des charges insuffisantes

Performances et pollution comparées entre fioul et Huiles végétales

Exemples de résultats obtenus :

Si tous les réglages et adaptations sont effectués on obtient de bons résultats sur les performances et les émissions aussi bien en petits brûleurs qu'en brûleurs de moyenne puissance.

Exemple 1 : brûleur Riello N10 (34 à 100 kW), 100% coton (essais Cirad 2007)

TYPE DE COMBUSTIBLE	100% coton	Fioul
CO2 %	8.3	9.3
CO mg/kWh	13	1
O2 %	9.9	8.3
NO mg/kWh	125	113
NOx mg/kWh	130	118
SO2 ppm	0	74
TEMP. FUMÉES °C	705	662
TEMP. AMBIANTE °C	22	22

Pression en sortie de pompe :18 bars. Température du mélange : 40°C

Exemple 2 : brûleur Cuenod C22.2, application en chauffage collectif, 100 % huile de colza (essais Cirad/Iribiom 1996).

Les essais ont porté sur le brûleur C22.2 (160 à 240 kW) modifié par le Cirad et Iribiom. Des locaux de la mairie d'Orléans ont été chauffés pendant 3 mois uniquement à l'huile de colza..

TYPE DE COMBUSTIBLE	100 % COLZA	Fioul
CO2 %	11.2	10.7
CO mg/kWh	4.8	1.3
O2 %	6.2	6.4
NO mg/kWh	71	93
NOx mg/kWh	74	98
SO2 ppm	0	21
TEMP. FUMÉES °C	228	236
TEMP. AMBIANTE °C	23	19

Pression en sortie de pompe :30 bars. Température de l'huile de colza : 140°C

Rappel : les limites selon EN267 sont : CO < 110 mg/kWh ; NOx < 185 mg/kWh.

Aperçu des brûleurs HVP disponibles sur le marché :

- Riello : propose des modèles adaptés aux HVP et garanti de 34 à 1000 kW.
<http://www.riello.fr>
- Raps Heizung (HPO) : propose un modèle de 40 à 90 kW
<http://www.raps-heizung.de>
- Kroll : propose des modèles de 50 à 200 kW
<http://www.kroll.de>



*Brûleur spécial Riello/Cirad ; 34 à 110 kW
Huile de coton brute, 2007. (photo Cirad)*

*Brûleur spécial huiles végétales Riello/Cirad ; 300 à 1100 kW
Huile de palme brute, Cameroun, 2007. (photo Cirad)*

11. Exemples d'estimation du coût de la production d'huile de colza par la filière courte.

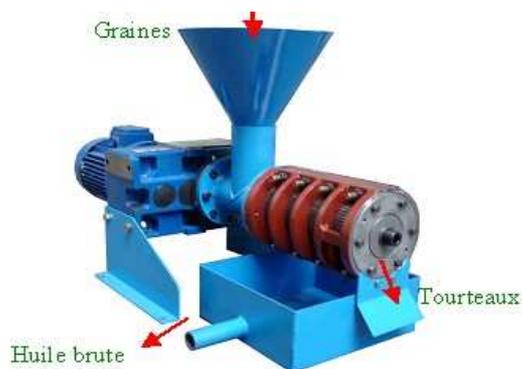
Exemple d'estimation du coût de la production d'huile par la filière courte

L'exemple décrit provient d'une CUMA (Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole) qui a investi dans la production d'HVP. Cette CUMA du sud ouest de la France (Dordogne) produit 18 m³ d'huile de colza par an et revend les tourteaux aux éleveurs de la région. L'HVP produit entre en compétition avec du fioul agricole aligné en prix et taxes sur le fioul de chauffage distribué en France métropolitaine. Il s'agit d'un soutien significatif car ces derniers sont soumis à une taxe de 0,0566 €/litre (0,078 USD) au lieu de 0,4169 €/litre (0,5753 USD) appliquée au gasoil pour véhicules routiers.

Estimation du prix de l'huile végétale comme carburant

Données utilisées :

Prix du fioul agricole	0.80 €/litre
Surface en colza :	20 hectares
Rendement en colza :	28.1 quintaux/hectare (2800 kg/ha)
Total graines :	56.25 tonnes (8 % humidité)
Teneur en huile graines :	40 %
Total huile produite :	18 000 litres
Total tourteaux produits :	36 tonnes
Huile résiduelle :	15 % (dans les tourteaux)
Pertes matières :	6.5 % (ramenées à la graine)



Presse à barreaux Type Oléane 50

Débit graines : 45 à 55 Kg / h
Débit huile : 15 à 20 Litres / h
MG résiduelle : 12 à 15 % dans tourteaux
Dimensions : 1,10 x 0,40 x 0,50 m

- *Exemple de coût d'investissement «presse et filtre» pour une unité produisant 18 000 litres par an.*

	Euros
<i>Achat presse et filtre</i>	12 000
<i>Amortissement 10 ans</i>	1 200
<i>Entretien, gestion</i>	255
<i>Assurance</i>	165
Total coût / litre d'huile	0,09

D'après l'étude d'une CUMA en France

- *Coût de stockage et production 18 000 litres par an*

	Euros
<i>Achat et installation cellule, cuve, vis</i>	19800
<i>Amortissement 10 ans</i>	1980
<i>Electricité</i>	202,5
<i>Main d'œuvre 1 jour (80 euros) / 1000 litres</i>	1440
Total coût stockage / litre d'huile	0,20

D'après l'étude d'une CUMA en France

- *Récapitulatif du prix de revient d'un litre d'huile sur 18000, 36000 et 54000 litres*

	Euros
<i>Pressage, filtration</i>	0,09
<i>Stockage, main d'œuvre</i>	0,2
<i>Taxe sur le carburant</i>	0,056
<i>Achat graine de colza (454€/T)</i>	1,418
<i>Vente tourteaux (160 €/T)</i>	-0,32
Total Coût sur 18 000 litres	1,44
Total Coût sans Taxe	1,38
<i>Sur 36 000 litres d'huile avec Taxe</i>	1,30
<i>Sur 54 000 litres d'huile avec Taxe</i>	1,19

Remarques

Dans la situation décrite, l'application d'une taxe sur le biocarburant rend annule l'intérêt financier de la production de l'huile compte tenu d'un prix du fioul agricole de 0,62 €/litre (0,85 USD).

Les coûts de stockage et production représentent 30 % du coût de fabrication

Il y a intérêt sensible à doubler ou tripler la production pour générer un bénéfice significatif même avec application d'une taxe sur les carburants.

L'exemple est intéressant dans un contexte de recherche d'autonomie énergétique et de développement. La production d'HVP carburant s'accompagnant de génération d'activités autour de l'atelier de fabrication et produisant des tourteaux pour l'alimentation animale.

12. Réglementation en vigueur.

L'Union Européenne développe les biocarburants, notamment à partir d'huiles végétales. En France, cette filière a fait l'objet d'un compromis difficile entre les milieux pétroliers et les motoristes d'un côté, et les milieux agricoles, en particulier les représentants des grandes cultures (céréales, sucre, oléagineux) de l'autre. Ce compromis avait jusqu'alors laissé de côté l'utilisation d'Huile Végétale Pure, en partie parce que les pétroliers et les motoristes sont très réservés par rapport à tout usage d'huile végétale produite et utilisée localement, sur la base d'arguments techniques sans doute recevables.

Le contexte énergétique récent (forte montée du baril de pétrole) et les préoccupations environnementales (accords de Kyoto et souci de limiter les émissions de gaz à effet de serre) conduisent certains acteurs socio-économiques, issus notamment du monde agricole et para agricole, à s'intéresser à l'utilisation des huiles végétales pures, pour des usages énergétiques, comme la carburation automobile (biocarburants), les moteurs fixes (pompes, groupes électrogènes), la pêche professionnelle, la combustion (chauffage de bâtiments, serres...), ou certaines applications industrielles (lubrifiants, solvants non toxiques, peintures, encres...).

Ces huiles sont produites à partir d'oléagineux (colza, tournesol...) sur des terres agricoles, en jachère ou non, en plus ou moins grandes quantités selon les sols et les contextes économiques et agricoles. Le secteur agricole et certaines collectivités territoriales leur accordent une attention de plus en plus importante et s'interrogent sur leur utilisation comme alternative partielle aux énergies d'origine fossile.

Depuis janvier 2006, la Loi d'Orientation Agricole autorise **l'utilisation d'huile végétale pure comme carburant agricole ou pour l'avitaillement des navires de pêche professionnelle**. Dans ces cas, les huiles végétales pures sont exonérées de TIC (Taxe Intérieure sur les Carburants).

Code des douanes, « Chapitre Ier : Taxes intérieures » :

- Le 2 de l'article 265 ter précise : *« L'utilisation, comme carburant agricole, d'huile végétale pure par les exploitants ayant produit les plantes dont l'huile est issue est autorisée.*

On entend par huile végétale pure l'huile, brute ou raffinée, produite à partir de plantes oléagineuses sans modification chimique par pression, extraction ou procédés comparables.

Les huiles végétales pures utilisées dans les conditions prévues au présent article et à l'article 265 quater bénéficient d'une exonération de la taxe intérieure de consommation.

Un décret détermine les conditions d'application du présent article ».

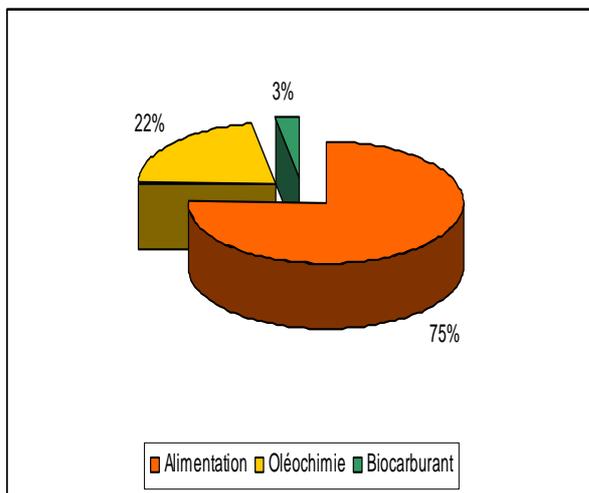
- L'article 265 quater. - *«La vente d'huile végétale pure en vue de son utilisation comme carburant agricole ou pour l'avitaillement des navires de pêche professionnelle ainsi que cette utilisation sont autorisées à compter du 1er janvier 2007.*

Un décret précise, au vu du bilan de l'application du 2 de l'article 265 ter, les modalités de production, de commercialisation et d'utilisation de ce produit ».

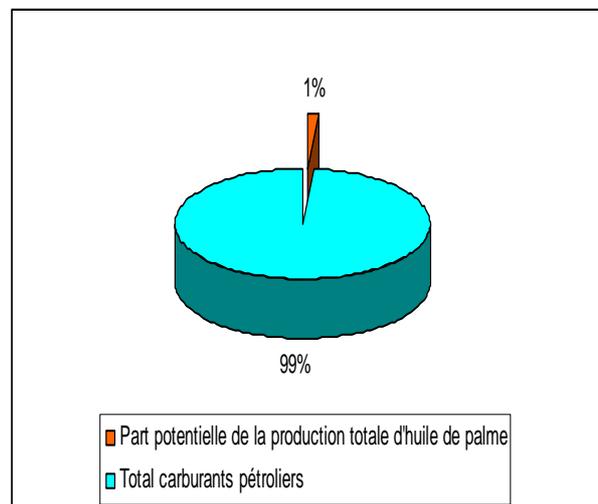
13. Conclusions et perspectives.

Conclusions :

- Les huiles végétales et leurs dérivés (Biodiesel,...) font partie des solutions de remplacement et de complément des produits pétroliers. Elles sont par nature de bons substituts des fiouls et gazoles avec des taux potentiels de mélange allant jusqu'à 100 % et des rendements globaux plutôt meilleurs que les gazoles. Leur champs d'application est actuellement essentiellement local ou régional car les quantités d'huiles produites ne représentent que quelques pour cents des quantités de carburants pétroliers consommés. L'huile de palme, par exemple, qui est la première huile mondiale, voit sa production croître de 8 % chaque année à des **fins alimentaires** car de toute façon avec 38 millions de tonnes annuelles elle ne permettrait que 6 jours de transports par an (voir diagrammes suivants).



Production annuelle mondiale d'huile de palme et de palmiste
37,6 millions de tonnes
pétrole



Consommation annuelle mondiale de pétrole pour les transports
2 482 millions de tonnes équivalent
pétrole

En revanche, des groupe agroindustriels comme Sifca en Côte d'Ivoire ou Socapalm au Cameroun, ne détourneraient que 5 % de leur production d'huile de palme pour être totalement autonome en carburant.

La génération d'électricité comme le machinisme agricole ou les transports utilisent essentiellement des moteurs diesels. Ce qui limite l'usage de l'éthanol qui est un carburant pour moteur à essence. Les Huiles Végétales Pures, HVP, sont le carburant idéal pour de l'autoconsommation et des cycles courts d'utilisation.

Il faut néanmoins réaliser des adaptations ou des modifications des moteurs pour assurer un bon fonctionnement avec des HVP. Ceci étant fait, les puissances sont

identiques avec des surconsommations de 5 à 8 % en volume, la longévité est au moins égale à celle observée avec les produits pétroliers.

La production est envisageable en micro unités comme en unités semi industrielles. Une fois produites, ces HVP doivent remplir un certain nombre d'exigences en terme de spécifications afin de garantir un minimum de qualité à l'utilisateur.

- Plusieurs exemples peuvent illustrer l'intérêt des HVP en usage local : l'utilisation en agriculture pour une autonomie en combustible, la relance d'activités alliée à une indépendance énergétique dans un contexte insulaire.

➤ **L'utilisation d'huile de tournesol comme carburant des tracteurs agricoles** a été évoquée et illustrée dans les chapitres précédents. L'opération menée dans le sud-ouest de la France consistait à produire de la graine de tournesol, à en extraire l'huile ceci avec des engins et des équipements utilisant cette même huile comme seule source de carburant. Les bilans sur trois années sont les suivants :

Par hectare de tournesol :

- Quantité d'huile végétales produite en moyenne : 1000 litres
- Quantité d'huile végétales carburant utilisée pour le cycle cultural* : 100 litres
- Quantité d'huile végétale carburant utilisée pour sécher les graines** : 9 litres
- Quantité d'huile végétale carburant utilisée pour produire l'huile*** : 26 litres

Le bilan moyen exprime la possibilité de produire 866 litres d'huile de tournesol alimentaire par hectare en toute autonomie en carburant.

- * : tracteurs modifiés et alimentés avec l'huile de tournesol,
- ** : séchoir équipé d'un brûleur modifié et alimenté avec l'huile de tournesol,
- *** : presse et chauffoir électrique alimentés grâce à un groupe électrogène utilisant l'huile de tournesol produite.



Tracteur 150 Hp. modifié, Flamme de combustion dans le séchoir, groupe 9 KVA alimentant la presse à huile : tous utilisant l'huile de tournesol comme seul carburant. (photos

➤ **L'exemple d'Ouvéa, Iles Loyauté, Nouvelle Calédonie.**

(L'exemple de cette Ile de 3500 habitants du Pacifique Sud est décrit en détails dans l'annexe 6).

En général, les petites îles ne possèdent pas le marché intérieur suffisant pour initier une production locale qui puisse bénéficier d'une économie d'échelle.

Sur l'île d'Ouvéa, l'activité traditionnelle de production de coprah a été abandonnée à la fin des années quatre vingt. Elle a repris grâce à l'installation d'une huilerie Coopérative en fin 1991. L'huile produite sert à la fabrication de savons mais aussi à :

- un groupe électrogène de 80 KVA, fonctionnant à l'huile de coprah, qui alimente l'huilerie en électricité. Sa consommation horaire est de 15 litres quand l'huilerie produit 150 litres d'huile par heure.
- deux motopompes de 5 kW modifiées en fonctionnant à l'huile de coprah pour la distribution publique d'eau potable.
- un véhicule municipal à l'huile de coprah.
- un groupe de puissance de 200 KVA fonctionnant à l'huile de coprah et fournissant l'électricité à l'usine de désalement d'eau de mer de l'Ile.
- un groupe de 45 KVA alimentant des installations municipales,
- un groupe de 300 KVA installé dans la centrale de production d'électricité de l'Ile et fonctionnant à l'huile de coprah depuis 2004 selon le principe de bi-carburant exposé au chapitre 3.

Le bilan fait ressortir que le total d'huile de coprah consommé par ces groupes et engins représente 400 tonnes de coprah par an ce qui amène des revenus à 120 coopérateurs et leurs familles tout en évitant l'importation de 200 000 litres de gasoil et la production de 640 tonnes de CO2 fossile.

Perspectives :

Face au développement obligatoire de nouveaux carburants renouvelables, tels ceux de « seconde génération » issus de procédés de gazéification suivi de catalyse, quelle place restera-t-il aux HVP ? Ces dernières, longtemps considérées comme des solutions « historiques » donc du passé, ont-elles des perspectives face à la modernisation des motorisations Diesel qui se répandent depuis 2000 ? Enfin, les huiles d'origine agricoles (c'est-à-dire la quasi-totalité de celles dont on parle) sont décriées à cause de la compétition annoncée entre terres énergétiques et terres alimentaires. Mais la situation en 2007 en reflète

en rien celle de demain et d'autres solutions de productions d'huiles végétales sont en cours de développement dans les laboratoires de recherche.

- ◆ En matière de recherche d'une meilleure qualité d'huiles végétales carburant, des travaux sont entrepris au Cirad et dans d'autres laboratoires pour étendre les spécifications établies par les allemands pour le colza aux autres huiles et en particuliers aux huiles tropicales.

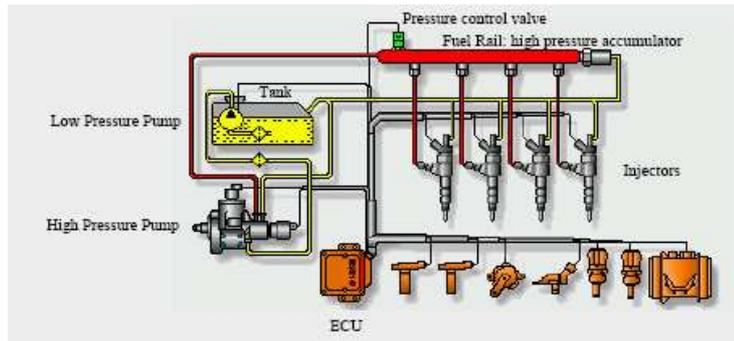
En effet, la prénorme Allemande DIN 51 605 sur la qualité de l'huile de colza comme carburant fixe, comme pour les produits pétroliers, une teneur maximale en sédiments de 24 ppm. Il est nécessaire pour la vérifier d'établir un protocole permettant de définir avec précision cette quantité de sédiments.

En fait il s'avère que les protocoles ISO 663 (analyse des corps gras d'origines animales et végétales) et ISO 12 662 (analyse des produits pétroliers liquides) montrent des lacunes dans l'analyse des huiles végétales pour moteur diesel. Les résultats n'étant pas répétables, voir totalement aléatoires.

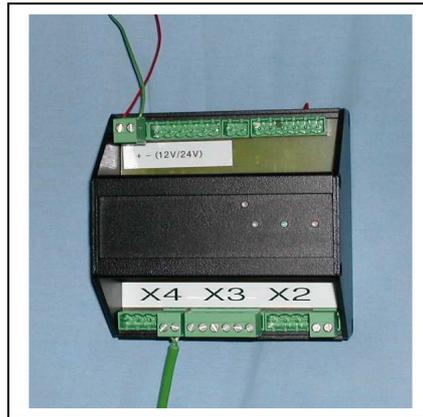
Le Cirad a décidé de travailler à la mise en place d'un nouveau mode opératoire tenant compte de la viscosité plus importante de la plupart des huiles par rapport aux produits pétroliers et des points de fusion très élevés de certains acides gras. Ceci pourrait déboucher sur un « cahier de spécifications » incluant différentes fiches par groupes d'huiles végétales ou animales.

- ◆ Les nouveaux systèmes de contrôle d'injection Diesel rendent plus exigeante la « préparation » du carburant : tolérance de filtration abaissée à 1 μm , viscosité faible. Les plus répandus sont les « *common rail* ». Les réglages ajustés pour les fiouls et gazoles ne sont plus adéquats pour les huiles plus visqueuses à température égale. Il faut donc, soit augmenter significativement la température des HVP, soit modifier les paramètres de pilotage électroniques. En revanche, si ces adaptations sont faites, les hautes pressions d'injection des systèmes « *common rail* » ajoutées au pilotage des masses injectées sont plus favorables aux HVP que les systèmes classiques d'injection.

Pour ces applications, les systèmes de bicarburation décrits précédemment s'adaptent bien. Il faut s'assurer d'un bon préchauffage des HVP et de la présence d'une pompe de gavage permettant des pressions de 3 à 6 bars avec des débits en accord avec le système « *common rail* » installé (exemple : 300 litres/heures pour du 200 kW Bosch). Le pilotage des passages de gazoles à HVP se faisant correctement grâce à un système de bascule électronique (voir photos ci-dessous et description paragraphe 3.5).



Système Common Rail Bosch (doc. Bosch)



Module de bascule Gasoil/Huile Végétale (doc. Cirad)

- ◆ Le développement d'autres sources d'huiles végétales que celles utilisées pour le marché alimentaire et agroindustriel classique pourrait ouvrir de nouvelles perspectives aux « HVP carburant » produites et utilisées localement.

- Le *Jatropha curcas* qui produit une huile non alimentaire, car contenant une toxine, pourrait faire l'objet de sélection et d'amélioration variétale. Car si cette plante s'accommode bien de conditions semi-arides sa production décroît avec les quantités d'eau disponibles annuellement. Cultivée en plein champ, elle présente le risque d'acculer à la famine les milliers de paysans sous contrat qui auraient dédié leurs terres à la production de Biodiesel. Alors même que les villages, qui regroupent jusqu'à 80 % de la population, n'ont pas un accès à l'énergie suffisant pour envisager des perspectives de développement. Ceci pourrait changer si une variété comestible voyait le jour. Des pays comme l'Inde, le Burkina Faso et d'autres entament des travaux plus orientés vers l'agronomie et les systèmes de culture du *Jatropha* que vers les utilisations de l'huile qui par ailleurs ont été étudiés en détails par le Cirad dans les années 90.

- La production de biocarburants lipidiques par des microalgues. Produire un biocarburant sous forme d'huiles ou d'ester de méthyl à partir de microalgues autotrophes est possible. Ces microorganismes peuvent accumuler des acides

gras jusqu'à 80% de leur poids sec permettant d'envisager, en théorie, des rendements à l'hectare supérieurs d'un facteur 30 aux espèces oléagineuses terrestres.

On estime entre 200 000 et plusieurs millions le nombre d'espèces d'algues existantes, une telle diversité non exploitée constitue un réel potentiel pour la recherche et l'industrie. Comparativement aux espèces oléagineuses terrestres, ces microalgues présentent de nombreuses caractéristiques favorables à une production d'acides gras :

- **Rendements de croissance et par conséquent des productions** à l'hectare supérieurs aux espèces oléagineuses terrestres (de 20 à 75 m³ d'huile par hectare et par an selon les sources).
- **Rendement photosynthétique** beaucoup plus élevé
- **Plasticité métabolique** bien plus importante permettant plus facilement d'orienter la bioproduction vers certains acides gras
- **Maîtrise du cycle de l'azote et du phosphore** en contrôlant le recyclage des éléments nutritifs
- Pas d'apport de **phytosanitaires**
- **Nombreux sous-produits** valorisables
- Technologie exploitable dans les **pays en voie de développement**

Le succès de ce type de production pourrait contribuer à l'usage des HVP tout en ménageant les terres vivrières traditionnelles. L'autre intérêt est la possibilité de sélectionner les algues en fonction de la composition en acides gras attendue. Ces recherches se développent dans les pays développés et le Cirad est partenaire d'un projet de l'Agence Nationale de la Recherche intitulé : « Shamash ».

Bibliographie

- *Ouvrages et publications :*

BATTAIS Liliane, DEFAYE Serge et VAITILINGOM Gilles
« Perspectives de développement de l'utilisation des huiles végétales pures hors utilisation biocarburant », Ademe Aquitaine, France, juin 2006.

BIGOGNO C., KHOZIN-GOLDBERG I., et al.
"Lipid and fatty acid composition of the green oleaginous alga *Parietochloris incisa*, the richest plant source of arachidonic acid." *Phytochemistry* 60(5): 497-503. 2002.

BORREDON Marie-Elisabeth, MOULOUGUI Zéphirin
« Chimie pour le développement durable – Les biotensioactifs », LCA, Toulouse, France, octobre 2006.

CENTRE TECHNOLOGIQUE DU MINAS GERAIS / CETEC
« Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais »
Volume 1 : « Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais », 1983
Volume 2 : « Transesterificação de óleos vegetais », 1983

CHIRAT Nathalie
Thèse de doctorat : « Etude de la qualité de carburants dérivés des huiles végétales - Approche méthodologique », Université de Montpellier 2, France, décembre 1996.

DE THEUX Barthélémy
Rapport de fin d'étude : « Utilisation de l'huile de palme comme combustible dans les moteurs diesel », ECAM, Belgique, 2003-2004.

EIER ETSHER
Rapport de la journée énergie sur la biomasse énergie organisée par le groupe EIER ETSHER, mai 2006 : « Formation sur la biomasse énergie », Burkina Faso, mai 2006.

F. FUHRER, A. LIMACHER, H. MIKLE, M. TRUTTMANN, R. FRIEDLI, M. PASQUIER, H. PFEFFERLI, R. SCHNELLER, G. GREMAUD
« Graisses comestibles, huiles comestibles et graisses émulsionnées », chapitre 7. Manuel suisse des denrées alimentaires MSDA, Suisse, 2005.

Guide pratique : « La Transformation Artisanale des plantes à huile - Expérience et procédés »
GRET, France, 1995.

E. GUIRAL et C. SAINT-CYR
« Voyage d'étude sur les huiles végétales pures », Rhonalpénergie-Environnement, France, mars 2005

GACHE Mélody, CIRAD

Rapport : « Etude de la teneur en sédiments dans les huiles végétales destinées aux moteurs diesels. IUT, Université de Perpignan, France, juillet 2007.

HENNING Reinhard, SIDIBE Yaya et SANANKOUA Oumou

Rapport intermédiaire du Projet Pourghère DNHE – GZT

« Production et utilisation de l’huile végétale comme carburant », Mali, novembre 1994.

LE CHIEN Hoang, Directeur Division Oléochimie VALAGRO - France

Compte rendu de la rencontre Franco-Brésiliennes sur les biocarburants – 27,28, 29 novembre 2006 Brasilia, Brésil.

LIENNARD Alain,

Thèse de doctorat : « Analyse de la durabilité socio-économique d’un processus de développement insulaire : La Nouvelle-Calédonie », Université de Montpellier 1, France, 2003

LIENNARD Alain, VAITILINGOM Gilles

« Etude sur les condition technico-économiques de l’utilisation des huiles végétales pures dans les moteurs de navires de pêche professionnelle », Ministère de l’Agriculture et de la Pêche, France, janvier 2007.

MARTIN Georges, GRAILLE Jean, MAYEUX Alain, DOUMERGUE Christine

« Possibilités d’emploi de diverses Huiles tropicales dans les moteurs Diesel- Recensement et caractérisation », CIRAD, France, octobre 1983.

PIOCH Daniel, VAITILINGOM Gilles

“Palm oil and derivatives: fuels or potential fuels?” OCL vol. 12 n°2, March-April 2005.

PRANKL Heinrich, KÖRBITZ Werner, MITTELBACH Martin, WÖRGETTER Manfred

« Review on biodiesel standardization world-wide », Mai 2004.

K. REINHARD et TIANASOA RAMORAFENO

« Le manuel Jatropha », Novembre 2005

TRAN Gilles

« Le coton et ses co-produits en alimentation animale » - Revue de l’Alimentation Animale n°482, Novembre 1994.

VAÏTILINGOM Gilles

Thèse de doctorat : Huiles végétales - Biocombustible diesel « Influence de la nature des Huiles et en particulier de leur composition en acides gras sur la qualité-carburant », Université d’Orléans, janvier 1992.

VAITILINGOM Gilles, LIENNARD Alain

“Various vegetable oils as fuel for Diesel and burners: *Jatropha curcas* particularities”. Biofuels and industrial products from *J. curcas*. Ed. Technische Universitat Graz, Austria.1997. p 98-109.

VAITILINGOM Gilles, PERILHON Christelle, LIENNARD Alain, Gandon Michel..
Development of rape seed oil burners for drying and heating. Industrial Crops and Products,
Elsevier. Vol. 7, p. 273-279, 1998.

VAITILINGOM Gilles, LIENNARD Alain
« Expérimentation d'un groupe fonctionnant à l'huile de coprah sur l'île d'Ouvéa – bilan
après 2500 heures ». CIRAD, Nouvelle Calédonie, 1998.

VAITILINGOM Gilles
« Les huiles végétales biocarburants pour les moteurs diesels », CIRAD, France, novembre
2004

VAITILINGOM Gilles
« Performances globales théoriques des moteurs diesels alimentés par l'huile de Tournesol
ou de colza », CIRAD, France, janvier 2005.

VAITILINGOM Gilles
« Utilisations énergétiques de l'huile de coton », Cahiers Agricultures Vol. 15, n°1, janvier-
février 2006

• *Sites Internet :*

www.acces.inrp.fr/

www.europeus.org

www.treehugger.com

www.bioking.nl

www.ifp.fr

www.uidaho.edu/bioenergy/

www.bcmad.com

www.institut.hvp.free.fr

www.canola-council.org

www.peracod.net/.../moteur-a-huile-Inde.htm

www.cirad.fr/

www.trame.org

ANNEXES



AMSOL

INDUSTRIE DES SEMENCES
DE PLANTES OLEOPROTEAGINEUSES



FILIERE FRANÇAISE
DES HUILES ET PROTÉINES VÉGÉTALES

Colza : le dynamisme des innovations génétiques conforte l'avenir de la filière

Le colza est une culture pour laquelle le potentiel de progrès génétique est encore très important. De nombreux semenciers y sont sensibles et poursuivent les programmes de sélection. À côté des recherches destinées à augmenter le rendement et la teneur en huile, les sélectionneurs travaillent sur d'autres aspects destinés à augmenter les performances technico-économiques de la culture et accroître ses débouchés.

Des progrès remarquables

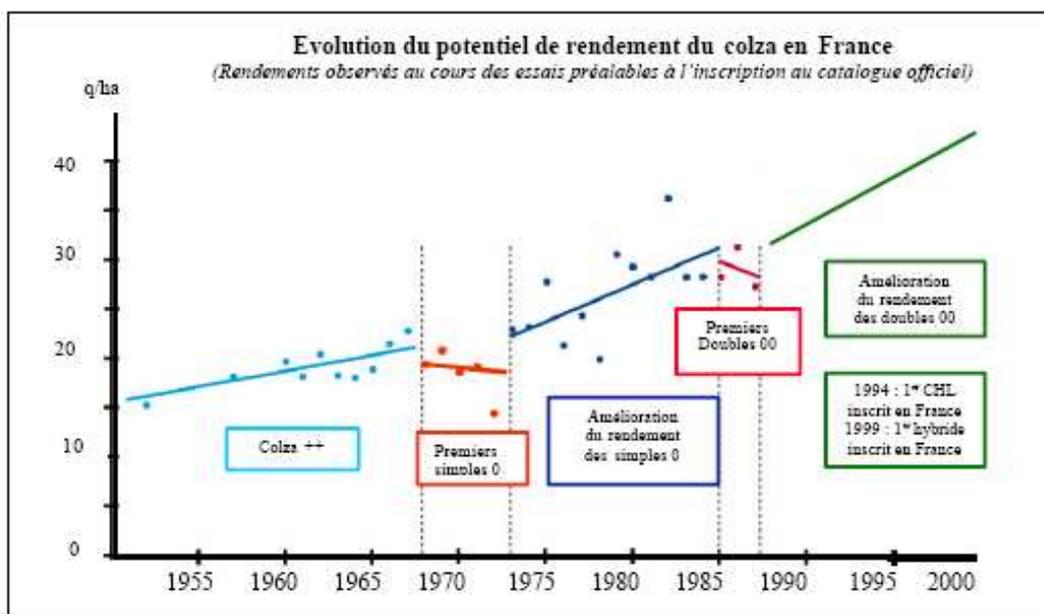
Augmentation régulière de la productivité

Depuis trente ans, la contribution de la sélection a été primordiale dans l'amélioration du rendement du colza en Europe. Dans les essais préalables à l'inscription des variétés au catalogue français, les rendements moyens sont passés de 23 q/ha en 1962 à 44,5 q/ha en 2001 (en prenant le rendement moyen des lignées et hybrides restaurés inscrits au CTPS).

Depuis dix ans, le potentiel de rendement a gagné 2,5 % par an.

La recherche génétique en colza a été aussi décisive pour répondre en très peu de temps aux contraintes nouvelles qui se sont imposées au colza et qui auraient pu rayer cette culture de la carte d'Europe :

- au début des années 70, la suppression de l'acide érucique des graines de colza : on avait jugé à l'époque que cet acide gras favorisait les maladies cardio-vasculaires.
- au début des années 80, la forte diminution du taux de glucosinolates : ce composé soufré contenu dans les tourteaux de colza n'était pas apprécié par les monogastriques.



Quelle forme variétale demain ?

Les variétés de colza utilisées aujourd'hui en France sont de trois types :

1. les lignées pures qui constituent toujours la part la plus importante du marché (78 % pour les semis 2001).

Dans les lignées, les plantes sont fertiles et fonctionnent en autofécondation.

2. les associations variétales : Composite Hybride Lignées (CHL) et Composite Hybride Hybride (CHH) dont la part se situe aux alentours de 8%. Les associations variétales restent plus productives que les lignées et les hybrides restaurés et donnent des résultats satisfaisants sur la façade atlantique et dans le Sud de la France.

Une association variétale qualifie un mélange intégrant des plantes hybrides mâle dépourvues de pollen (on parle de stérilité mâle) avec des plantes pollinisatrices. Si le (ou les) pollinisateur est une lignée ; l'association est un CHL, alors que si c'est un hybride ; il s'agit d'un CHH. La fécondation croisée entraîne des risques de nouaison liés aux conditions climatiques à la floraison. C'est la raison pour laquelle l'utilisation des associations variétales concerne exclusivement le Sud et l'Ouest atlantique de la France.

3. les hybrides occupent actuellement 14 % des surfaces.

Un hybride restauré est issu du croisement entre une lignée mâle stérile et une lignée restauratrice de fertilité mâle. Ce type variétal est 100 % fertile et on retrouve la même sécurité de fécondation qu'avec une lignée.

Les hybrides mixtes sont issus du croisement entre une lignée mâle stérile et un hybride restauré. L'hybride comprend 50 % de plantes fertiles et 50 % de plantes sans pollen. Ce matériel est intermédiaire entre association variétale et hybride restaurée.

Les hybrides, une voie récente

Les programmes de recherche des sélectionneurs portent aussi sur la création d'hybrides F1 restaurés.

De nombreux systèmes d'hybridation du colza ont été mis au point et testés à travers le monde mais ils ne se sont pas tous avérés efficaces. Deux systèmes d'hybridation différents sont actuellement utilisés avec succès en France :

- Le système Ogu-Inra mis au point par l'INRA est travaillé par tous les sélectionneurs français.
- Le système allemand NPZ Lembke.

En matière d'hybrides F1 restaurés, le challenge des sélectionneurs est d'obtenir des hybrides à teneur en glucosinolates inférieure à 18 micromoles et présentant un très haut niveau de productivité. Le 1^{er} hybride restauré utilisant le système d'hybridation OguINRA à teneur en glucosinolates inférieure à 18 µmoles a été inscrit au CTPS en 1999.

Lignées... des efforts de recherche soutenus

Les sélectionneurs continuent à travailler en parallèle sur les lignées pures, une forme variétale qui aujourd'hui permet en toute circonstance, d'obtenir des performances très élevées. Par ailleurs, il faut garder à l'esprit que l'amélioration des performances des hybrides dépend des performances des lignées parentales.

Associations variétales, une solution temporaire

Avant de pouvoir disposer d'hybrides complètement fiables, les sélectionneurs avaient décidé de proposer aux agriculteurs plusieurs types de formules variétales, dont la principale a été le composite hybride lignées ou CHL. Pendant quelques années, les sélectionneurs vont continuer à déposer des formules variétales de ce type qui donnent d'excellents résultats dans certaines régions. Mais elles devraient ensuite rapidement laisser la place aux véritables hybrides.

Les principaux axes de sélection développés par la recherche

Les principaux axes de sélection travaillés aujourd'hui par les sélectionneurs français et européens s'articulent essentiellement autour des critères suivants :

- Le potentiel de rendement et sa régularité
- La teneur en huile
- La résistance aux maladies, notamment au Phoma et à la cylindrosporiose
- La tenue de tige

A plus long terme, les sélectionneurs travaillent également pour réduire les intrants et améliorer la qualité de l'huile et du tourteau. Les travaux d'identification et de caractérisation des gènes impliqués vont permettre de déboucher plus rapidement et de façon plus ciblée. Parmi les premières applications on peut citer :

- La composition en huile et en acide gras, pour la création de colzas à usages spécifiques
- La tolérance aux herbicides
- La résistance aux insectes

Un potentiel de gain de rendement encore très important

La sélection du colza est relativement récente et c'est pourquoi la génétique de cette espèce laisse entrevoir des potentiels de gain de productivité encore très importants.

Déjà dans les parcelles d'expérimentation, les sélectionneurs enregistrent des rendements de plus de 60 q/ha. Depuis dix ans, les rendements ont progressé en moyenne de 2,5 % par an et il n'y a aucune raison pour que ce progrès s'arrête.

Les sélectionneurs cherchent à exploiter plusieurs pistes :

- la sélection d'hybrides : le phénomène d'hétérosis (supériorité de l'hybride par rapport à ses parents) n'a pas encore été véritablement exploité sur le colza. Les chercheurs sélectionnent des lignées parentales pour leur aptitude à former des combinaisons performantes. Des progrès très importants sont encore attendus dans ce domaine.
- la recherche d'une plus grande régularité de rendement par la sélection de plantes plus rustiques et plus résistantes aux maladies.
- une modification de l'architecture des plantes : pour que la plante développe moins de végétation mais davantage de grains. Les variétés inscrites aujourd'hui sont déjà plus courtes et dotées d'un appareil végétatif moins développé que celles qui ont vu le jour il y a quelques années, une évolution qui s'est effectuée au profit d'un rendement en grains plus élevé.
- à terme, une modification du métabolisme des plantes : à plus long terme, il n'est pas utopique de penser que les chercheurs réussiront grâce aux techniques de transfert de gènes, à jouer sur le métabolisme des plantes, sur le stockage des acides gras par exemple.

La teneur en huile

Quelle soit à usage alimentaire ou industriel, la production d'huile est la raison d'être de la culture du colza. Juste après le rendement, la teneur en huile est donc tout naturellement au centre des préoccupations de la sélection variétale. Depuis dix ans les sélectionneurs améliorent la teneur en huile des variétés. Cette caractéristique se mesure en pourcentage d'huile par rapport au poids de matière sèche de la graine. Un colza standard présente une teneur en huile fluctuant aux alentours de 40 %. Mais la sélection variétale a fait progressivement augmenter le rendement en huile :

- en 1992 deux des variétés inscrites présentent un résultat de 42 % pour la teneur en huile
- entre 1995 et 1998, 7 variétés ont des résultats compris entre 43 et 43,5 %
- certaines variétés inscrites aujourd'hui atteignent les 45 %.

La résistance aux maladies

Le travail des sélectionneurs a aussi été primordial dans la création de variétés résistantes au Phoma. Mais cette maladie est encore mal connue et des travaux sont encore nécessaires : identifier de nouvelles sources de résistance, mieux connaître les déterminismes génétiques, étudier l'écologie des populations du pathogène et estimer les risques de contournement de résistance. Afin d'éviter ce phénomène, les sélectionneurs s'orientent vers l'association de différentes sources de résistance. La recherche a déjà donné d'excellents résultats :

- la première inscription au CTPS d'une variété « très peu sensible » au Phoma date de 1993,
- la deuxième a été inscrite en 1996 et la troisième en 1998,
- 12 variétés commercialisées en 2001 et testées par le Cetiom sont qualifiées de « très peu sensibles » au Phoma. Aujourd'hui les 2/3 des variétés sont qualifiées de « très peu sensibles » ou de « peu sensibles » au Phoma.

Les sélectionneurs travaillent sur d'autres maladies : de nombreuses variétés inscrites ces deux dernières années sont tolérantes à la cylindrosporiose et au pseudocercosporia.

Une forte diminution de la fertilisation azotée

Des programmes de sélection actuels visent à obtenir des variétés se satisfaisant d'une plus faible fertilisation azotée (de 100 et 120 unités). Les essais officiels sont désormais conduits à de faibles niveaux de fertilisation azotée (150 unités d'azote en terres profondes et 180 unités en terres légères). Les chercheurs étudient le comportement des variétés en matière d'absorption d'azote et notamment, le taux de restitution de l'azote dans les graines et dans les feuilles.

La teneur en glucosinolates

La teneur en protéines relativement élevée de la graine de colza (trois fois plus que dans les céréales) est un atout d'autant plus important que l'utilisation des farines de viande a été interdite en alimentation animale.

Le tourteau de colza est désormais reconnu comme une source de protéines de qualité pour l'alimentation des animaux d'élevage. Dans ce contexte, l'abaissement des teneurs en glucosinolates demeure une préoccupation importante. La réglementation française est relativement stricte puisque les variétés inscrites au CTPS ont des teneurs inférieures à 18 moles alors que d'autres réglementations (Européenne notamment) imposent des teneurs

inférieures à 25 moles. Quoi qu'il en soit, l'abaissement de ses composés améliore encore la qualité nutritionnelle du tourteau de colza pour les porcs et volailles. La progression de la sélection dans ce domaine est significative ; grâce à la sélection, le teneur en glucosinolates des graines a été réduite passant de 100 moles /g de graine pour les variétés inscrites dans les années 80 à des teneurs inférieures à 18 moles pour les variétés actuelles.

Afin d'améliorer la digestibilité du tourteau de colza pour les monogastriques, des recherches visent maintenant à réduire la teneur en cellulose de l'épiderme des graines de colza (graine jaunes).

Les colzas nains ou demi-nains

Alors qu'un plant de colza classique atteint environ 1,60m à la floraison, il existe des variétés naines ne mesurant que 80 centimètres.

Il est intéressant de noter que l'INRA travaille depuis plusieurs années sur ces colzas nains. Les colzas demi nains (hybride issu du croisement d'une plante de taille classique et d'une plante naine) présentent deux avantages pour les agriculteurs : d'une part ils sont plus résistants à la verse que les lignées classiques, et d'autre part ils permettent aux agriculteurs d'intervenir facilement dans leurs parcelles de colza avec un tracteur jusqu'à la récolte.

Les colzas nains ou demi-nains présentent également la particularité de ne pas monter à l'automne, ils peuvent donc être semés très tôt après la récolte de la céréale qui les précède et ils pourront jouer pleinement le rôle de pièges à nitrates. Autre avantage, de part son port très prostré durant l'hiver, le colza nain ou demi-nain a un meilleur comportement vis-à-vis du froid.

Le transfert de gènes offre de nouvelles perspectives

Le colza est doté d'un double génome puisqu'il est issu du croisement naturel d'un chou et d'une navette. L'introduction de gènes nouveaux par la voie du transfert de gènes est donc une opération plus délicate que pour des plantes à génome simple comme le maïs ou le tournesol.

Les nouvelles techniques du génie génétique ont déjà permis deux applications sur le colza : la mise au point du système d'hybridation par stérilité mâle génique et la tolérance aux herbicides (au glyphosate et au glufosinate). Ces colzas génétiquement modifiés sont déjà cultivés depuis plusieurs années dans de grands pays agricoles, notamment au Canada.

En France, compte tenu du moratoire, il n'y a pas de commercialisation de variété de colza génétiquement modifiée. Cette décision est mise en œuvre dans l'attente de la publication des résultats d'études concernant les questions environnementales. En attendant, il est primordial que les essais puissent se poursuivre afin de mieux connaître la nature des éventuels impacts entre ces nouvelles variétés et l'environnement et afin de définir les meilleurs itinéraires culturaux.

A moyen terme, les sélectionneurs travaillent sur la résistance aux maladies et sur la résistance aux insectes. Ils ont également engagé toute une série de travaux sur la qualité des huiles destinées à des usages spécifiques. Enfin, à plus long terme, ils espèrent pouvoir intervenir sur le métabolisme général des plantes en améliorant l'efficacité de l'absorption de l'azote par exemple ou en exploitant mieux l'énergie captée par la plante.

La composition des huiles

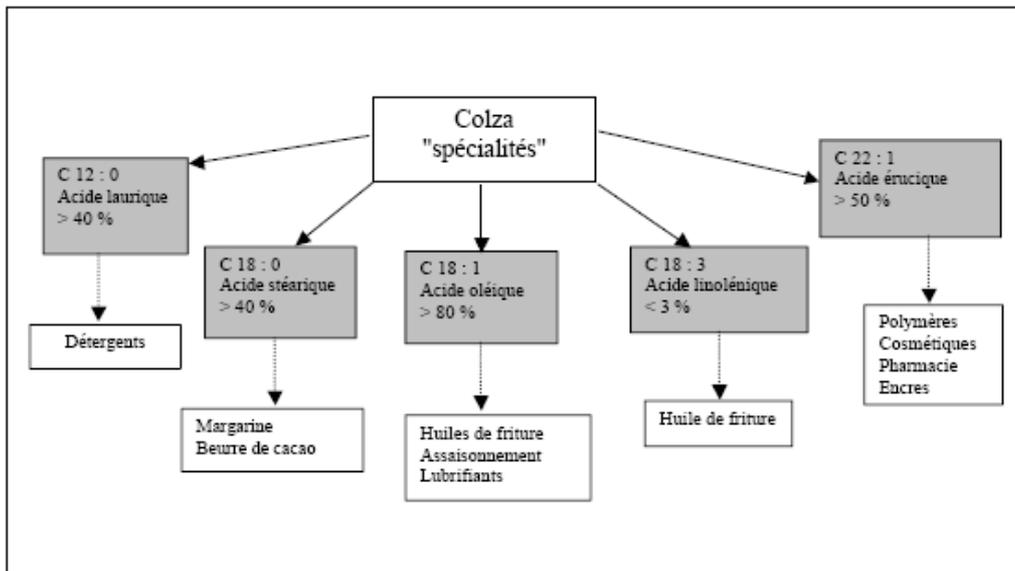
Les huiles végétales comportent trois types d'acides gras, des acides gras saturés (acides laurique, palmique ou stéarique par exemple), des acides gras mono-insaturés (oléique ou érucique) et des acides gras poly-insaturés (acide linoléique ou linoléique).

Selon la teneur et l'équilibre en ces différents acides, l'huile sera mieux adaptée à telles utilisations alimentaires ou industrielles. Pour répondre aux attentes spécifiques de la ménagère ou de l'industrie, les sélectionneurs cherchent à créer des variétés avec des profils en acides gras très particuliers.

En matière d'alimentation humaine, les nutritionnistes ont montré que l'huile de colza avait de nombreux atouts. Afin d'augmenter encore davantage les qualités nutritives de cette huile, certaines recherches visent à augmenter le taux d'acide oléique (C 18 : 1) tout en diminuant le taux d'acide linoléique (C 18 : 3).

Une première variété de colza à faible teneur en acide α -linoléique a été inscrite en 1997 en France, cette caractéristique permet d'éliminer les odeurs qui habituellement se dégagent à la cuisson avec l'huile de colza.

Les industriels de la lipochimie sont à la recherche d'acides gras à chaîne longue qui présentent des caractéristiques assez proches des molécules issues de l'industrie pétrolière. Ils apprécient par exemple les huiles à haute teneur en acide érucique. Pour répondre à leurs besoins, les agriculteurs produisaient jusqu'à maintenant de vieilles variétés de colza. A présent, une variété riche en acide érucique et plus performante sur le plan agronomique, a été inscrite en France en 1998.



Valoriser et développer la diversité génétique du colza

Les sélectionneurs cherchent également à élargir la base génétique à partir de laquelle ils travaillent pour mieux valoriser la diversité génétique du colza. Disposer d'une grande diversité génétique est essentielle pour la création d'hybrides : plus les parents d'un hybride seront éloignés l'un de l'autre, moins ils auront de gènes en commun et plus l'effet d'hétérosis sera important.

Par chance, il n'y a pratiquement pas eu d'échanges génétiques entre le colza d'Europe de l'Ouest et celui d'Europe de l'Est. Hé oui ! Le mur de Berlin s'est révélé être un véritable atout pour la sélection du colza. Il a permis de préserver le matériel génétique des variétés slaves. Même si ces dernières n'ont pas le niveau de qualité requis, il y aura des « mariages heureux » entre variétés de l'Ouest et variétés de l'Est ! De même, il y a eu peu d'échanges entre variétés occidentales et variétés asiatiques. L'isolement des variétés confère des avantages très précieux pour la création d'hybrides en favorisant l'effet d'hétérosis (supériorité de l'hybride par rapport au meilleur des deux parents).

Au cours des quinze dernières années, les sélectionneurs ont focalisé leurs efforts de recherche sur des aspects qualitatifs. Aujourd'hui les efforts s'intensifient sur l'objectif d'amélioration globale de la productivité. Ainsi, la génétique, facteur de développement durable, répond aux attentes des producteurs et de la filière.

Pour tous renseignements complémentaires :

CETIOM (Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains)
Centre de Grignon - BP4 78850 Thiverval - Grignon
Tél : 01 30 79 95 60 – Fax : 01 30 79 95 90

GNIS (Groupement Interprofessionnel des Semences et plants)
44, rue du Louvre - 75001 Paris
Tél : 01 42 33 51 12 – Fax : 01 40 28 40 16

AMSOL
20, rue Bachaumont – 75002 PARIS
Tél : 01 53 00 99 30 – Fax : 01 53 40 74 10
www.amsol.asso.fr

PROLÉA
12, avenue Georges V – 75008 PARIS
Tél : 01 40 69 48 80 – Fax : 01 40 69 49 86
www.prolea.com

ANNEXE 2

La Combustion des tourteaux

Lorsqu'il ne peut être totalement valorisé en alimentation animale (accords de Blair House obligeant à utiliser le soja américain), la combustion des tourteaux semble a priori plus judicieuse si l'on a bien l'utilisation de l'huile dans des moteurs fixes. (sinon il vaut mieux la combustion directe de la graine)

Toutefois, on suggère une voie de recherche technologique : l'extraction préalable des protéines utilisables en alimentation animale, afin de ne brûler qu'un résidu cellulosique bas de gamme. Cette orientation nécessiterait de modifier le process industriel pour ne pas « cuire » les protéines qui perdent alors leurs propriétés alimentaires.

Une étude comparative entre process industriel actuel et chauffage des tourteaux à plus basse température en vue d'une valorisation des protéines en alimentation animale et de la cellulose en combustion devra permettre d'apporter des réponses techniques et économiques aux questions soulevées par le fractionnement des tourteaux en deux catégories de sous-produits :

- Protéines d'un côté,
- Résidus cellulosiques de l'autre.

Le combustible solide résiduel pourrait être brûlé dans une chaudière adaptée (à grille ou lit fluidisé, selon la puissance à prévoir) pour produire la vapeur du process de l'unité industrielle ou de l'eau chaude pour les besoins de l'huilerie ou, le cas échéant de consommateurs industriels voisins.

L'extraction des protéines présenterait un atout incontestable en matière d'émissions de soufre et d'azote. Les essais de combustion de tourteaux de colza effectués par l'Université Technologique de Compiègne dans le cadre d'un programme AGRICE montrent que les émissions polluantes (SO₂ et NO₂) sont très élevées et nettement au-dessus des normes applicables (rubrique 2910 de ICPE pour les installations de plus de 2 MW soumises à déclaration- arrêté du 25 juillet 1997). Ces polluants émanent principalement de la combustion des protéines riches en soufre et en azote. La combustion de la fraction cellulosique seule devrait donner des émissions très inférieures aux normes comme c'est le cas pour le bois et les autres biomasses lignocellulosiques.

Autre voie à creuser : le décorticage préalable des graines de tournesol déjà utilisée, chez Sofiproteol à Bassens.

Comparaison des émissions de SO₂ et de NO₂ issues de la combustion des tourteaux de colza et de l'arrêté 2910 du 25/05/97

	Tourteaux de colza	Emissions gazeuses à 6 % de O ₂ Norme 167C incinération	Norme rejets biomasse (2910 du 25/05/97 à 11 % de O ₂) – Installations de 2 à 20 MW
Densité	0,76		
Humidité	8,2 %		
Matières volatiles	67,6 %		
Taux de cendre	6,2 %		
Taux de carbone fixe	18 %		
PCS (kWh/kg)	4,8		
PCI (kWh/kg)	4,7		
SO ₂ à 6 % de O ₂ (mg/Nm ³)	1 240	50 (200) ¹⁴	200
NO ₂ à 6 % de O ₂ (mg/Nm ³)	1 030	400 ¹⁵	500

Source UTC/AGRICE 1997

Dans l'hypothèse d'un traitement biologique anaérobie, l'extraction préalable de protéines limiterait les dégagements ammoniacaux (inhibiteur de la méthanogénèse) et abaisserait probablement le taux d'hydrogène sulfuré (H₂S) dans le biogaz puisque son précurseur est constitué par les protéines soufrées.

1.1 Plan biocarburant et valorisation des tourteaux

Le respect par la France de la directive européenne biocarburants, suppose la production à l'horizon 2010 de l'équivalent de 2 millions de tonnes d'EMHV, ce qui mobilisera de l'ordre de 1 500 000 ha de terres agricoles (cf. rapport AGRICE 2002).

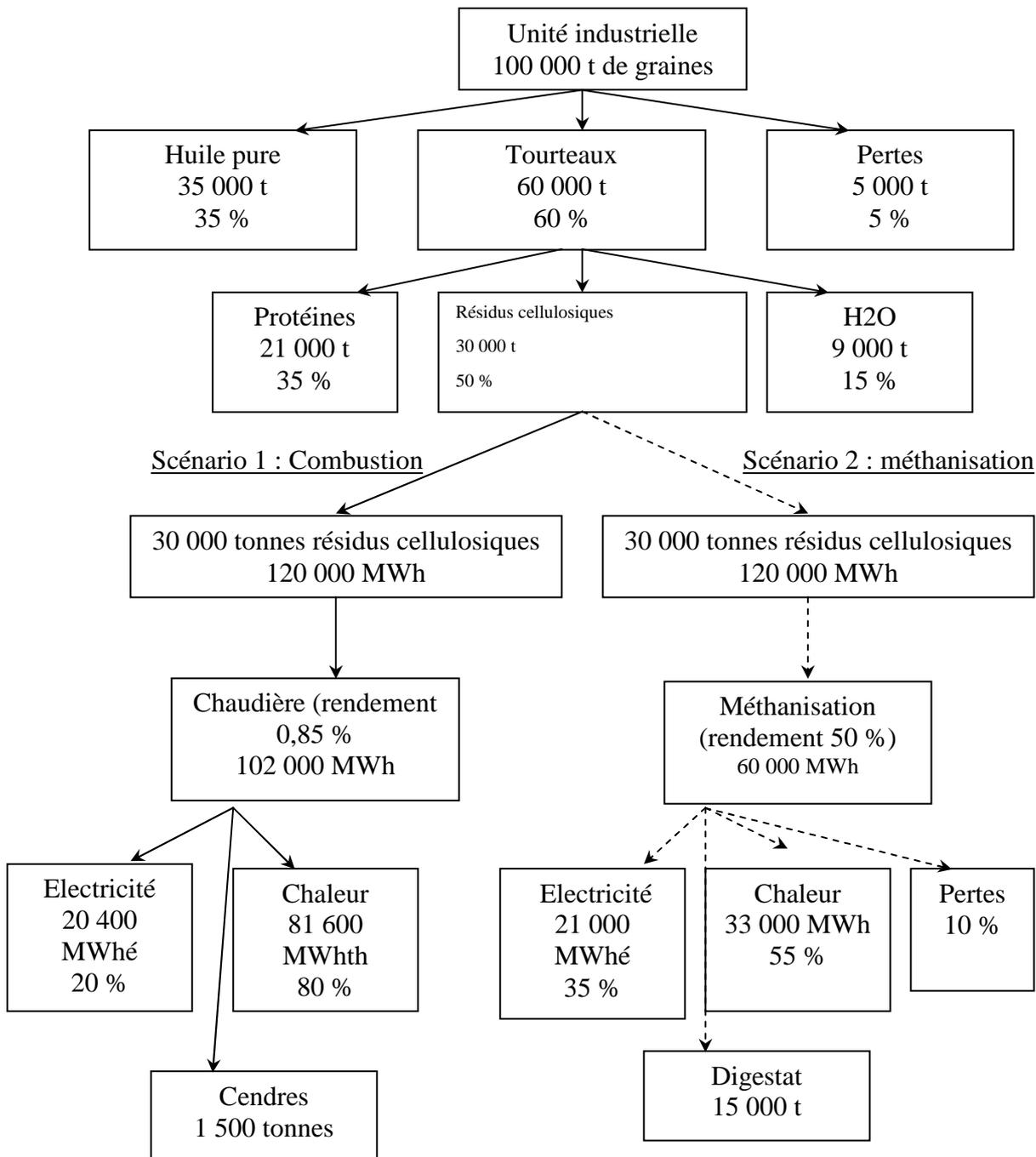
Compte tenu de la productivité/ha (tonnage de graines) et du rendement d'extraction en huile, cela correspond à une production de tourteaux supplémentaires de 1,5 à 2 millions de tonnes par an, soit un doublement de la production actuelle qui s'établit à 1 300 000 tonnes.

La consommation pour l'alimentation animale de tourteaux de soja, colza et tournesol étant de l'ordre de 5 200 000 tonnes/an (source SCEES) assurée en grande partie par des importations de soja brésilien, argentin...(4 600 000 tonnes), la production supplémentaire de tourteaux issue des cultures énergétiques pourrait donc théoriquement trouver un emploi en alimentation animale. La France deviendrait ainsi moins dépendante des protéines importées.

Cependant, cela risque de mettre en cause des accords commerciaux internationaux. Dans l'hypothèse où il faudrait maintenir un quota d'importation de protéines, cela supposera de trouver un débouché non alimentaire pour les tourteaux supplémentaires issus des huilleries. D'où l'importance de réfléchir à une extraction des protéines et une valorisation énergétique de la fraction lignocellulosique pour limiter les risques :

- En combustion, d'émissions gazeuses polluantes (azote et soufre)
- En amendement organique, d'une volatilité et d'une minéralisation trop rapide de l'azote (dégagement de N₂O ou lixiviation/percolation d'azote minéral).

Bilan énergétique de la valorisation des résidus cellulósiques des tourteaux



Annexe 3

Qualité carburant de l'huile de colza

Le développement en Europe des Huiles Végétales Pures (HVP) comme carburant a conduit les pays où leur usage est autorisé à établir une norme de qualité.

L'Allemagne, qui autorise les HVP carburants en substitution totale des gazoles, a établi une prénorme DIN 51 605 pour l'huile de colza.

On peut la présenter en deux parties : l'une propre à l'huile végétale considérée, l'autre générale pour toute huile végétale carburant.

Prendre cette proposition allemande comme référence est intéressant car elle est établie pour un usage à 100 % d'HVP. En France, la plupart des expériences (non autorisées !) sont menées avec des mélanges de 30 à 50 %. Ce qui signifie que des huiles 2 à 3 fois plus « chargées » d'éléments indésirables ont pu montrer un bon comportement sur des tracteurs agricoles.

Prénorme DIN 51 605 pour les Huiles Végétales Pures carburant			
		Min	Max
Propriétés caractéristiques de l'huile de colza			
Densité (15°C)	kg/m ³	900,0	930,0
Point d'auto-inflammation	°C	220	-
Viscosité cinématique (40°C)	mm ² /s	-	36,0
Valeur calorifique	kJ/kg	36000	-
Indice de cétane	-	39	-
Carbone résiduel	% (m/m)	-	0,4 (4 000 ppm)
Indice d'iode	g iode/100g	95	125
Teneur en soufre	mg/kg	-	10
Propriétés variables			
Teneur en particules	mg/kg	-	24 (ou 24 ppm)
Acidité	mg KOH/g	-	2,0
Stabilité à l'oxydation (110 °C)	h	6.0	-
Teneur en phosphore	mg/kg	-	12 (ou 12 ppm)
Teneur en calcium et en magnésium	mg/kg	-	20 (ou 20 ppm)
Teneur en cendres	% (m/m)	-	0,01 (100 ppm)
Teneur en eau	% (m/m)	-	0,075 (750 ppm)